

UNIVERSIDAD DE CUENCA



Fundada en 1867

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

Av. 12 de Abril y Agustín Cueva, Cuenca

**“APROVECHAMIENTO DE LODOS DESHIDRATADOS
GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE Y RESIDUAL COMO AGREGADO PARA
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.”**

Autores:

Andrea Melissa Bermeo Barreto
Edgar Paúl Idrovo Heredia

Director:

Dra. Gladys Guillermina Pauta Calle Msc.

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

CUENCA- ECUADOR

2014



RESUMEN

En el presente estudio se analizan los lodos procedentes de las Lagunas de Estabilización ubicadas en Ucubamba, y parte integrante del sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Cuenca, y los lodos procedentes de las operaciones de potabilización de la Planta de Tratamiento de Sústag. Estos análisis, tienen por objeto determinar la utilidad de los lodos como agregados para materiales de construcción, generando una disposición ecológica de los mismos, y contribuyendo a minimizar la actividad extractivista de materias primas empleadas en la industria de la construcción.

Los estudios demostraron que los lodos procedentes de la potabilizadora no tienen esta aplicabilidad debido al elevado contenido de sulfatos, los que ejercen un notable efecto corrosivo sobre los materiales: morteros y hormigones.

En cambio los lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales mostraron ser efectivos para la fabricación de los siguientes materiales: morteros, en los cuales la ceniza de lodo ejerce igual efecto que la cal; para hormigones, cuando el lodo sustituye al 10% del agregado fino; y para ladrillos la mayor eficiencia se obtiene cuando la dosis adicionada reemplaza al 5% de su volumen.

Palabras Claves: Lodo, Hormigón. Mortero, Ladrillo.



ABSTRACT

In the present study are analyzed the sludge coming from the Stabilization Ponds located in Ucubamba, which are an integral part of the treatment system for domestic wastewater of the city of Cuenca, and sludge coming from water treatment operations of the treatment plant of Sústag. These analyzes are intended to determine the usefulness of sludge as aggregates for construction materials, creating an ecological arrangement of thereof, and helping to minimize the extractive activities of raw materials used in the construction industry.

Studies showed that sludge from the water treatment has not this applicability due to the high content of sulfates, which exert a marked corrosive effect on materials: mortars and concretes.

On the other hand, sludge coming from the wastewater treatment system proved to be effective for the manufacture of the following materials: mortars, in which the sludge ash exerts the same effect as lime; concrete, when the sludge replaces 10% of fine aggregate; and bricks where the highest efficiency is obtained when the added dose replaces 5% of its volume.

Keywords: sludge, concrete, mortar, brick



CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	18
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Generales.....	19
1.1.2 Específicos	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.....	20
2.1.1 Introducción.....	20
2.1.2 Objetivo del Tratamiento.....	20
2.1.3 Tipos de Tratamientos	20
2.1.4 Línea de Tratamiento Convencional	24
2.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE SUSTAG.....	25
2.2.1 Introducción.....	25
2.2.2 Descripción de los Procesos de Potabilización	26
2.3 LODOS EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SUSTAG.....	30
2.3.1 Introducción.....	30
2.3.2 Origen de los Lodos.....	31
2.3.3 Características de los Lodos en Los Sedimentadores	31
2.3.4 Sistema de Remoción de Lodos en Sedimentadores.....	32
2.3.5 Deshidratación de Lodos PTAP Sústag.....	33
2.4 TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.	34
2.4.1 Introducción.....	34
2.4.2 Tipos de Tratamiento.....	35
2.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UCUBAMBA	54
2.5.1 Introducción.....	54
2.5.2 Descripción de los Procesos de Depuración.....	54
2.6 LODOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UCUBAMBA.....	59
2.6.1 Introducción.....	59
2.6.2 Origen de los Lodos.....	59
2.6.3 Características de los Lodos de las Lagunas.....	59
2.6.4 Sistema de remoción de Lodos de Lagunas y Deshidratación	60
2.7 LODOS COMO MATERIA PRIMA DE CONSTRUCCIÓN	63



2.7.1	Introducción	63
2.7.2	Objetivo	64
2.7.3	Emisiones ambientales y control.....	64
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	67
3.1	LODOS COMO MATERIA PRIMA DE CONSTRUCCIÓN	67
3.2	CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES	68
3.2.1	Origen de los Materiales.....	68
3.2.2	Ensayos.....	68
3.3	DISEÑO DEL EXPERIMENTO	85
3.3.1	Elaboración de Hormigones.....	85
3.3.2	Calcular las proporciones en peso de los materiales mediante El Método del A.C.I.: 85	
3.3.3	Mezclado:	94
3.3.4	Medir el Asentamiento	95
3.3.5	Moldeado de Probetas:.....	96
3.3.6	Curado del Concreto:.....	96
3.3.7	Diferentes Ensayo a las probetas:	97
3.4	DISEÑO DE MORTEROS	97
3.4.1	CALCULAR LAS PROPORCIONES EN PESO DE LOS MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE MORTERO DE CEMENTO Y CAL	98
3.4.2	Mezclado	103
3.4.3	Ensayo de Fluidéz	103
3.4.4	Moldeado de Probetas.....	105
3.4.5	Curado del Mortero.....	106
3.5	ELABORACIÓN DE LADRILLOS	106
3.5.1	Extracción de la materia prima	106
3.5.2	Selección y Batido del Material.....	106
3.5.3	Moldeo de Ladrillos.....	106
3.5.4	Perfilado o raspado del Ladrillo	107
3.5.5	Proceso de Cocción u Horneado del Ladrillo Artesanal	107
3.5.6	Determinación del peso de cada componente	107
4	RESULTADOS	108
4.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	108



4.1.1	Resistencia a la compresión de Hormigones con Lodos Deshidratados provenientes de PTAR “Ucubamba” y PTAP “Sústag”	108
4.1.2	Resistencia a la compresión de Morteros con Cenizas de Lodos provenientes de PTAR “Ucubamba” y PTAP “Sústag”	111
4.1.3	Resistencia a la compresión de Ladrillos con Lodos provenientes de PTAR “Ucubamba”	112
4.2	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA.....	113
4.2.1	Resistencia a la Tracción Indirecta de Hormigones con Lodos Deshidratados provenientes de PTAR “Ucubamba” y PTAR “Sústag”	113
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	115
5.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE HORMIGONES CON LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE PTAR “UCUBAMBA” Y PTAP “SÚSTAG”. ..	116
5.2	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS CON CENIZAS DE LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE PTAR “UCUBAMBA” Y PTAP “SÚSTAG”	121
5.3	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LADRILLOS CON LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE PTAR “UCUBAMBA”	122
5.4	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DE HORMIGONES CON LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE PTAR “UCUBAMBA” Y PTAP “SUSTAG”. ..	123
5.5	MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	126
5.6	ANÁLISIS DE COSTOS EN LA PRODUCCIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	127
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
7	BIBLIOGRAFÍA.....	131
8	ANEXOS.....	134



Índice de Tabla

Tabla 1 Tipos de tratamiento según la impureza, contaminante o elemento a eliminar....	22
Tabla 2 Tipos de tratamientos según los procesos.	23
Tabla 3 Tipos de tratamientos según sistemas globales.	24
Tabla 4 Tratamientos típicos para aguas residuales.	35
Tabla 5: Clasificación típica de los tratamientos primarios.	40
Tabla 6. Eliminación de constituyentes por medio de operaciones y procesos de tratamiento avanzados (10).	47
Tabla 7 Tecnologías de deshidratación.	51
Tabla 8 Granulometría del árido fino.....	70
Tabla 9 Granulometría del árido grueso.....	71
Tabla 10 Granulometría del Lodo (PTAP SUSTAG)	73
Tabla 11 Granulometría del Lodo (PTAR UCUBAMBA).....	74
Tabla 12 Peso Volumétrico Seco Suelto de la Grava.....	76
Tabla 13 Peso Volumétrico Seco Compactado de la Grava.....	77
Tabla 14: Volumétrico Seco Suelto de la Arena.....	77
Tabla 15: Volumétrico Seco Compactado de la Arena.....	78
Tabla 16: Peso Específico y % Absorción de la Arena.....	80
Tabla 17: Peso Específico y % Absorción de la Grava.....	81
Tabla 18: Contenido de Humedad en el árido fino (arena).....	82
Tabla 19: Contenido de Humedad en el árido grueso (grava).....	83
Tabla 20 Peso Específico del Cemento	85
Tabla 21 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de una muestra (Tabla 5.3.2.2-ACI 318S-08).....	86
Tabla 22. Consistencia y Asentamientos	86
Tabla 23. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.	87
Tabla 24. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.....	88
Tabla 25. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del hormigón.....	89
Tabla 26. Máximas relaciones agua/cemento permisible para concretos sometidos a condiciones especiales de exposición.	90
Tabla 27. Módulo de fineza de la combinación de agregados.....	91
Tabla 28. Pesos secos de agregados para 1m ³ de hormigón.....	92
Tabla 29. Pesos corregidos por humedad para elaborar 1m ³ de hormigón.	94
Tabla 30. Resumen de pesos para cantidad requerida de Ho.....	94
Tabla 31 Especificación por dosificación. Requisitos	99
Tabla 32 Especificación por propiedades. Requisitos	100
Tabla 33 Coeficiente de Aporte (k).....	101
Tabla 34 Peso Unitario de los componentes de Mortero.....	102
Tabla 35 Resumen de pesos para cantidad requerida de Mortero.....	103
Tabla 36 Peso de cada componente.....	107
Tabla 37 Características de los Cilindros LDU	108



Tabla 38 Resultados de la Resistencia a Compresión LDU	109
Tabla 39 Características de los Cilindros LDS	110
Tabla 40 Resultados de la Resistencia a Compresión LDS	111
Tabla 41 Características de los Morteros con cenizas de LDS y LDU.....	111
Tabla 42 Resultados de la Resistencia a Compresión de Morteros con cenizas de LDU y LDS	112
Tabla 43 Características de Ladrillos LDU	112
Tabla 44 Resultados de la Resistencia a Compresión de Ladrillos LDU	113
Tabla 45 Características de los Cilindros LDS y LDU	113
Tabla 46 Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta con LDU	114
Tabla 47 Resultados de la Resistencia a Compresión con LDS.....	114
Tabla 48 Análisis físico- químico de las "cenizas"	125
Tabla 49 Análisis de Emisiones	125



Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Vista frontal de la captación.	26
Ilustración 2: Medición de caudal proveniente de la captación.	27
Ilustración 3: Dosificación de reactivos al agua.	27
Ilustración 4: Proceso de Floculación (formación de flocs).	28
Ilustración 5: Sedimentación de partículas.	28
Ilustración 6: Cámara de Filtración.	29
Ilustración 7: Cámara de medición de cloro, pH y turbiedad.	29
Ilustración 8: Monitoreo del cloro en el agua.	30
Ilustración 9: Almacenamiento del agua potable.	30
Ilustración 10: Tubería que contiene el agua usada en el lavado de filtros.	31
Ilustración 11: Válvulas de manguitos para extracción de lodos.	32
Ilustración 12: Espesador de Lodos.	33
Ilustración 13: Deshidratación de Lodos mediante Filtro Banda.	34
Ilustración 14 Esquema de tratamiento de Lodos (12).	48
Ilustración 15 Ubicación de la PTAR Ucubamba.	54
Ilustración 16 Cajón de llegada del Afluente a la planta, By-Pass y compuerta de admisión.	55
Ilustración 17 Cribas mecánicas autolimpiantes.	56
Ilustración 18 Desarenadores y Deflectores de Caudal.	56
Ilustración 19 Lagunas Aereadas.	57
Ilustración 20 Lagunas Facultativas.	58
Ilustración 21 Lagunas de Maduración.	58
Ilustración 22 Mecanismo de barrido y extracción de lodo depositado.	60
Ilustración 23. Red perimetral para conducción de lodos dragados.	61
Ilustración 24. Espesador y tanque de lodos espesados.	61
Ilustración 25. Filtros Banda planta lodos Ucubamba.	62
Ilustración 26. Silo de almacenamiento de lodo deshidratado.	62
Ilustración 27 Lodo Deshidratado, Lodo Desechado, "Ceniza de Lodo"	67
Ilustración 28 Instrumentos de Medición de Gases.	68
Ilustración 29 Tamizado del árido fino y árido grueso.	70
Ilustración 30 Gráfica Granulométrica del agregado fino.	71
Ilustración 31 Gráfica Granulométrica del agregado grueso	72
Ilustración 32 Gráfica de Combinación de agregados	72
Ilustración 33 Gráfica Granulométrica del Lodo (PTAP SUSTAG)	73
Ilustración 34 Gráfica Granulométrica del Lodo (PTAR UCUBAMBA).	74
Ilustración 35 Cono de Abrams.	95
Ilustración 36 Comprobación de Asentamiento	96
Ilustración 37 Moldeado de Probetas.	96
Ilustración 38 Curado de Probetas.	97
Ilustración 39 Mesa de Fluidez	104
Ilustración 40 Comprobación de Fluidez	105



Ilustración 41 Moldeado de Morteros	105
Ilustración 42 Batido de Arcilla con pisoteo de animales (Fuente: Proyecto EELA Ecuador)	106
Ilustración 43 Perfilado de Ladrillo (fuente EELA Ecuador)	107
Ilustración 44 Proceso de Cocción de los Ladrillos	107
Ilustración 45 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión LDU	116
Ilustración 46 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión LDS	117
Ilustración 47 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión con el 5% de LDU Y LDS	118
Ilustración 48 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión con el 10 % LDU Y LDS	119
Ilustración 49 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión con el 15% de LDU Y LDS	120
Ilustración 50 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión de Morteros con ceniza de lodos provenientes de PTAR y PTAP.....	121
Ilustración 51 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión de Ladrillos	122
Ilustración 52 Gráfica Comparativa de Resistencia a Tracción Indirecta LDS	123
Ilustración 53 Gráfica Comparativa de Resistencia a Tracción Indirecta LDU	124
Ilustración 54. Curva Esfuerzo-Deformación de las probetas de Hormigón.....	126
Ilustración 55. Costo de producción de Hormigones con Lodo proveniente de la PTAR Ucubamba.	127
Ilustración 56. Costo de producción de morteros con cenizas provenientes de los lodos PTAR y PTAP.....	127
Ilustración 57. Resultados Ensayo Probetas Hormigón.....	136
Ilustración 58. Resultados Ensayos Probetas de Hormigón y Morteros.	137
Ilustración 59. Control de Emisiones lodo procedente Ucubamba.....	138
Ilustración 60. Control de Emisiones Lodo procedente de Sústag.....	139
Ilustración 61 Probetas Lodo desecado Ucubamba y Sústag	140
Ilustración 62. Corrosión por Sulfatos, comparación de probetas Sústag y Ucubamba..	140
Ilustración 63. Ensayo de Tracción Indirecta.....	141
Ilustración 64. Matriz Cementante de Encapsulamiento del Lodo (Ucubamba izquierda, Sústag derecha).	141
Ilustración 65. Ensayo de Tensión-Deformación.	141



Índice de Siglas/ Símbolos

TC1	Tratamiento Convencional 1
TC2	Tratamiento Convencional 2
TC3	Tratamiento Convencional 3
PTAP	Planta de Tratamiento de Agua Potable
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
M.O	Materia Orgánica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
SS	Sólidos Suspendidos
ETP	Efluente de tratamiento primario
ETB	Efluente de tratamiento biológico (sin decantación)
ETS	Efluente de tratamiento secundario (con decantación)
ARC	Agua residual cruda (no tratada)
FAR	Fango activado recirculado
OD	Oxígeno Disuelto
Pm	Peso promedio del agregado (suelto o compactado)
V	Volumen del Recipiente
SSS	Saturada Superficialmente Seca
Pe	Peso Específico
Ss	Desviación estándar
f 'cr	Resistencia promedia
f 'c	Resistencia requerida
TMN	Tamaño Máximo Nominal
LDU	Lodos Deshidratados de Ucubamba
LDS	Lodos Deshidratados de Sústag



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, ANDREA MELISSA BERMEO BARRETO, autor de la tesis "APROVECHAMIENTO DE LODOS DESHIDRATADOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL COMO AGREGADO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 16 de Octubre de 2014

ANDREA MELISSA BERMEO BARRETO

0104813498



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, EDGAR PAÚL IDROVO HEREDIA, autor de la tesis "APROVECHAMIENTO DE LODOS DESHIDRATADOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL COMO AGREGADO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 16 de Octubre de 2014

EDGAR PAÚL IDROVO HEREDIA

0104919188



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, ANDREA MELISSA BERMEO BARRETO, autora de la tesis "APROVECHAMIENTO DE LODOS DESHIDRATADOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL.COMO AGREGADO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 16 de Octubre de 2014

ANDREA MELISSA BERMEO BARRETO

0104813498



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, EDGAR PAUL IDROVO HEREDIA, autor de la tesis "APROVECHAMIENTO DE LODOS DESHIDRATADOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL COMO AGREGADO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 16 de Octubre de 2014

EDGAR PAUL IDROVO HEREDIA

0104919188



DEDICATORIA

Tiempo atrás me propuse alcanzar mi primera meta profesional; y hoy es un hecho! Gracias a Dios quien me bendijo en este camino con el tesoro máspreciado que tengo que son mis padres Eduardo y Noemí, de quienes he tenido todo el amor y el apoyo incondicional. Mis hermanos Diego, Andrés y Gabriela que me han acompañado y siempre me han alentado. A mis sobrinos Valentina y Matías la alegría de mis días. A mi abuelita Elvira que hoy ya no está entre nosotros quien jamás dejó de darme el ánimo para superar cualquier barrera. A mi compañero de tesis quien jamás dejó que me rindiera, y por siempre creer en mí. Este trabajo de investigación va dedicado a ustedes, mi AMADA FAMILIA.

Andrea Melissa

A mi Dios, por darme todas las fuerzas necesarias y la sabiduría para saber afrontar todas las pruebas en este gran paso de mi vida. Esta tesis se la dedico a mis padres Edgar y Miriam por ser el pilar fundamental en mi vida. Por estar conmigo en las buenas y en las malas, por enseñarme que el rendirse o el “no puedo” nunca debe estar en mi mente. Por su apoyo incondicional en todas las decisiones de mi vida. Por todas las noches de desvelo junto a mí, por sus sabios consejos, por su preocupación, por su amor, por enseñarme a ser mejor cada día y no dejar de creer en mi sueño. A mis hermanos y hermana por ser siempre mis compañeros fieles, mi inspiración y mis mejores amigos durante toda mi vida: Gabriela, Xavier y Nicolás. Por todo su apoyo, su amor y sus ocurrencias que día a día alegran nuestra familia. No puedo olvidar mencionar a una persona muy especial con quien he compartido esta última gran etapa de mi vida, por su apoyo, comprensión y paciencia en esta meta cumplida. Finalmente a mis amigos con quienes hemos reído, llorado, luchado y disfrutado consiguiendo esta primera meta Tatiana, Eduardo y Gonzalo; porque todo sacrificio tiene su recompensa y a mis demás amigos que fueron parte importante en mi pasar por las aulas universitarias.

Edgar Paúl



AGRADECIMIENTOS

Al culminar este trabajo de investigación, queremos agradecer a Dios por habernos permitido cumplir con este objetivo en nuestra vida. A nuestras familias por habernos apoyado durante todo este tiempo, y a todas las personas que nos supieron guiar y compartir sus enseñanzas y conocimientos.

Asimismo, deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Doctora Guillermina Pauta, directora, tutora y amiga; quien durante todo este trabajo nos supo dar su apoyo absoluto, consejos, sugerencias, conocimientos, experiencias y las facilidades para su ejecución.

De igual manera queremos expresar nuestros agradecimientos al Ingeniero Galo Durazno, Director de la Planta de Aguas Residuales de Ucubamba por su apoyo y su orientación en el desarrollo de esta investigación. Al Ingeniero Xavier Ortiz, Director de la Planta de Agua Potable de Sústag, por su apoyo en este proyecto.

A la Universidad de Cuenca y a sus profesores quienes durante estos años de estudio fueron nuestra guía intelectual; a los laboratoristas Daniela G., Gabriela V., Stalin y Vinicio, quienes colaboraron en todos los trabajos experimentales, dándonos las facilidades para el uso de los laboratorios.

Finalmente, a nuestra gran labor en equipo, en dónde hemos podido compartir e intercambiar opiniones, conocimientos e ideas, que llevaron a que este gran esfuerzo y dedicación se convierta ahora en una meta cumplida.

Los autores



1. INTRODUCCION

La disposición final de lodos provenientes de la potabilización del agua y del tratamiento de aguas residuales es una de las principales preocupaciones en muchos países. Debido a que este es un problema reciente y se carece de estudios en el país, se desconoce el potencial contaminante del biosólido, por lo que es difícil determinar el impacto ambiental que provocan estos residuos en los rellenos sanitarios o en los cauces de los ríos, los cuales son en algunos casos los principales receptores de los mismos.

En el Ecuador se desconoce el volumen total de lodos generado por el tratamiento de agua potable como en el de aguas residuales; sin embargo, en las lagunas de estabilización de Ucubamba localizadas en Cuenca, existe una extracción anual de 18250 toneladas de lodos (1) como una primera fase (lodos que se han ido acumulando durante 14 años, sin ser extraídos), para luego pasar a una segunda fase de extracción, con un promedio anual de 2000 toneladas de lodos (fase definitiva). De igual manera en las plantas potabilizadoras de agua de la Ciudad de Cuenca, se tiene una producción diaria y anual de lodos aluminosos provenientes de la remoción de sólidos suspendidos presentes en el agua cruda y de reactivos adicionados, que son vertidos en los suelos y en otro caso llevados al relleno sanitario.

El manejo de los lodos es complejo, debido a su composición. Contienen sustancias desagradables producidas por el agua no tratada, así como a su vez materia orgánica diferente de la original, pero que está sujeta a otros procesos y que la pueden volver desagradable. Se debe tener en cuenta que el lodo contiene una baja fracción de materia sólida, por lo que las operaciones y procesos para extraer el agua y disminuir la cantidad de residuo a tratar son de vital importancia, puesto que un aspecto importante a tener en cuenta, es la eficiencia vs costo en el tratamiento y funcionamiento de la planta. Uno de los costos más importantes en el proceso de disposición final del lodo es el transporte de grandes volúmenes de lodo, por lo que es necesario estudiar y encontrar la mejor disposición final, la misma que resulte sustentable con el ambiente y al menor costo posible.

En el presente trabajo de investigación se plantea el estudio de los lodos deshidratados procedentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba y de la Planta Potabilizadora de Sútag, para determinar un probable aprovechamiento como agregados para materiales de construcción. El proceso experimental consistirá en determinar las dosis óptimas de los lodos desecados, así como también de las cenizas procedentes de los mismos,



como agregados, que permitan mejorar las propiedades mecánicas de los materiales de construcción al menor costo. Se evita así la contaminación del suelo y del medio ambiente, y se contribuye en la disminución de la extracción y explotación de recursos naturales, a través de un plan de desarrollo sostenible mediante el reciclado y reutilización de biosólidos.

Cabe mencionar que este trabajo en su primera fase de desarrollo, participó en el II Reconocimiento a la Investigación Universitaria Estudiantil: “Galardones Nacionales 2014”, organizado por la SENESCYT, llegando a la segunda fase de clasificación, por lo que merece una continuidad y profundización en futuras investigaciones (ANEXO 7).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Generales

- Contribuir en el aprovechamiento de los lodos generados por los procesos de purificación de agua potable y residual, empleándolos como agregados para materiales de construcción como son ladrillos, morteros y hormigones, con el fin de mitigar impactos ambientales.
- Mejorar el conocimiento científico y práctico de la reutilización de los lodos en el campo de la construcción.

1.1.2 Específicos

- Determinar las características físico-químicas de las cenizas de los lodos provenientes del sistema de lagunas de estabilización de Ucubamba, y de la planta potabilizadora de agua de Sústag.
- Determinar las dosis y concentraciones óptimas de lodo y cenizas, como agregado en la fabricación de materiales de construcción, para mejorar las propiedades mecánicas.
- Realizar ensayos de resistencia a compresión, tracción indirecta, flexión y tensión-deformación, para obtener una relación de resistencia-peso entre lodos provenientes de agua potable y agua residual.
- Analizar el funcionamiento y eficiencia del lodo y de la ceniza como agregado de materiales de construcción, con el menor costo de producción.



2. MARCO TEÓRICO

2.1 TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

2.1.1 Introducción

El agua es indispensable para la vida y es necesario poner a disposición de los consumidores un abastecimiento satisfactorio, haciendo todo lo posible para obtener la mejor calidad que la tecnología permita. Lo esencial es proteger al agua de la contaminación, lo que se obtiene mediante la protección de la fuente de abastecimiento, antes que la remoción de contaminantes para hacerla apta para consumo (2).

El agua captada no siempre mantiene una calidad estable, por lo que se debe diseñar plantas de tratamiento que puedan responder a situaciones extremas de calidad en el agua captada, además de disponer de sistemas alternativos que impidan el ingreso de contaminantes extraños que se puedan presentar, de modo que se alcance la óptima calidad para el consumo humano.

2.1.2 Objetivo del Tratamiento

El objetivo de un tratamiento de agua natural que se ha captado, es lograr un agua potable que cumpliendo con los requisitos mínimos de calidad regidos por una normativa vigente garantice tanto la calidad como la cantidad en cualquier momento y punto del sistema.

2.1.3 Tipos de Tratamientos

Existen tratamientos físicos, químicos, biológicos y combinaciones de ellos para la potabilización. Todos los tratamientos tienen limitaciones y tanto sus ventajas como sus desventajas son las que definen sus campos de aplicación.

A mayor tamaño de partícula, más sencillo es el proceso a aplicar, por lo que el orden lógico es eliminar en primer lugar las materias en suspensión, luego las sustancias coloidales y después las sustancias disueltas (de origen mineral o compuestos orgánicos), como última etapa, en muchos casos se realizan tratamientos de afino o acondicionamiento: como la desnitrificación (3).

En las siguientes tablas se expone un resumen de la clasificación de los tratamientos para agua potable, según los siguientes criterios (4):

- Impurezas, contaminantes o elemento a eliminar (Tabla 1).
- Según los procesos (Tabla 2).
- Punto de vista de tratamiento global (Tabla 3).



Tipos de tratamiento según la impureza, contaminante o elemento a eliminar

IMPUREZA O CONTAMINANTE	OPERACIONES UNITARIAS	NOTAS
Sólidos Gruesos	Desbaste (hojas, ramas)	Rejillas
Arenas y Partículas sólidas	Desarenado	
Sustancias Flotantes	Desengrasado	Se eliminan hojas, ramas, grasas y espumas
Contaminación bacteriológica	Desinfección (Cloro, O_3)	Tratamiento Convencional Primario (TC1)
Turbidez y Sólidos en suspensión	Desbaste Tamizado Decantación Filtración Coagulación+ Floculación+ Decantación y/o Filtración	Tratamiento Convencional Secundario (TC2). Se eliminan también gérmenes y coloides
Materia Orgánica	TC2 TC1 (a través de oxidación) Ozonización Adsorción	Carbón activado cuando hay materia orgánica en exceso. Es altamente poroso
Color	TC1 TC2 TC3	
Olores y Sabores	TC1 TC2 TC3 Oxidación (MnO_4K , Cl_2)	Cl_2 , y compuestos aromáticos, la unión con fenoles da mal sabor
Sólidos Disueltos	Ósmosis Inversa	Se eliminan sales (Cl^- , $SO_4^{=}$, NO_3^- , etc.) sobretodo cloruros, es una desalación. En la ósmosis inversa se filtra el líquido a través de una membrana



	Destilación Intercambio Iónico	La destilación se puede usar para tratar el agua de mar El intercambio iónico es muy utilizado en industria
pH	Adición de ácidos o Bases	Si el agua es básica se añade algún ácido: clorhídrico o sulfúrico
Dureza	Precipitación Química Intercambio Iónico	Se ablanda el agua cuando se elimina la dureza. Se añaden reactivos químicos que conviertan las sales en productos insolubles.
Gases Disueltos	Aireación (Stripping) Desaireación	Se puede eliminar CO ₂ , amoníaco, etc. La desaireación se consigue generando vacío en la superficie del líquido.
Hierro y manganeso	Oxidación/ Precipitación/ Filtración/Intercambio Iónico	Se usa un oxidante: ozono, permanganato
Metales Pesados	Precipitación Química Intercambio Iónico	La precipitación química se consigue subiendo el pH por encima de 11 (más o menos). El metal se hace insoluble; luego hay que volver a neutralizar el agua
Flúor	Adición a aguas (+) Precipitación (-)	Puede aparecer de forma natural en rocas volcánicas. Se añade por criterios sanitarios

Tabla 1 Tipos de tratamiento según la impureza, contaminante o elemento a eliminar.



Tipos de tratamientos según los procesos:

OPERACIONES UNITARIAS	PROCESOS
Desbaste	PRETRATAMIENTOS
Desarenado	
Desengrasado	
Desinfección	DESINFECCION O ESTERILIZACIÓN
Desbaste Tamizado Decantación Filtración Coagulación+ Floculación+ Decantación y/o Filtración	CLARIFICACIÓN
TC2 TC1 Ozonización Adsorción	
TC1 TC2 TC3	
TC1 TC2 TC3 Oxidación	
Osmosis Inversa Destilación Intercambio Iónico	DESALACIÓN
Adición de ácidos o bases	NEUTRALIZACIÓN
Precipitación Química Intercambio Iónico	ABLANDAMIENTO
Aeración (Stripping) Desaireación	
Oxidación/ Precipitación/ Filtración/Intercambio Iónico	
Precipitación Química Intercambio Iónico	
Adición a aguas de flúor	FLUORACION

Tabla 2 Tipos de tratamientos según los procesos.



Tipos de tratamientos según sistemas globales

A1	A2	A3
Tratamiento Físico Simple + Desinfección	Tratamiento Físico Normal + Tratamiento Químico + Desinfección	Tratamiento Físico -Químico Intenso + Aire + Desinfección
Filtración rápida + Desinfección	Precloración + Coagulación-Floculación + Decantación + Filtración + Desinfección (Postcloración o cloración final)	Cloración al break- point + Coagulación-Floculación + Decantación + Filtración + Afino- Carbón activo + Desinfección (Ozono o cloración final)

Tabla 3 Tipos de tratamientos según sistemas globales.

2.1.4 Línea de Tratamiento Convencional

Línea de Tratamiento Convencional se aplica a la mayoría de las aguas de abastecimiento, y consta de las siguientes etapas: Coagulación – Floculación - Decantación, Filtración y Desinfección; y en pocas ocasiones requieren un Pretratamiento (filtración mecánica), y una Precloración,

- **Pretratamiento:** Consiste en acondicionar el agua para que posteriores etapas sean más eficaces y eficientes; a través de equipos, tales como: rejas, tamices, desarenadores y desengrasadores; de esta manera se protege la instalación de erosiones y taponamientos.
- **Precloración:** Otro proceso de acondicionamiento que radica en adicionar el agente generador de formas activas de cloro que impide la proliferación de microorganismos y la formación de algas.



- **Coagulación- Floculación:** Por coagulación se entiende a un proceso de desestabilización de los coloides, es decir la eliminación de las propiedades que les hacen mantenerse en suspensión, esto se logra mediante la anulación de las cargas eléctricas. Ya desestabilizadas las partículas es importante su sedimentación en lapsos cortos de tiempo, para lo cual deben alcanzar un tamaño óptimo que se obtiene mediante la floculación. (4)

Mediante la floculación se promueve la interrelación de las partículas coloidales desestabilizadas y la formación de agregados que puedan ser eficientemente eliminados en los siguientes procesos de separación. Esta agregación se obtiene cuando las partículas se ponen en contacto mediante la mezcla y se crea enlaces entre ellas mediante la adición de floculantes (5). Este proceso de mezcla y floculación debe ser lento para no romper los flóculos ya formados.

- **Decantación:** Proceso mediante el cual se promueve el depósito del material en suspensión por acción de la gravedad, esto se obtiene reduciendo la velocidad del agua hasta conseguir que las partículas en suspensión se depositen en un determinado tiempo.
- **Filtración:** Etapa que consiste en pasar el agua por sustancias porosas con el propósito de retener o remover algunas impurezas, o flóculos muy livianos que no lograron sedimentar. Por lo general el medio más usado es la arena soportada por capas de piedras, con un sistema de drenaje debajo de estas.
- **Desinfección:** Conocida también como “Cloración”; el agua puede tener un largo recorrido antes de ser consumida, por esta razón se adopta en todos los sistemas este último proceso como una medida correctiva y/o preventiva con la finalidad de la eliminación de microorganismos patógenos, y para garantizar la calidad del agua dentro de la red de distribución.

2.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE SUSTAG

2.2.1 Introducción

La planta de Tratamiento de Agua de Sútag “Proyecto Yanuncay” se encuentra ubicada en la provincia del Azuay en la vía Cuenca- Soldados Km 12, a una altura aproximada de 2920m sobre el nivel del mar. Ha sido implantada para abastecer de agua potable a parroquias como: San Joaquín, Huizhil, Baños, Narancay, San Miguel de Putuzhi, Misicata, Medio Ejido, Barabón, entre otros.

La Planta de Agua Potable de Sútag trata en la actualidad un caudal de 460 L/s, proyectándose hasta 690 L/s en una segunda etapa, mediante implementación de unidades adicionales.

El agua que ingresa a la planta de tratamiento procede del Río Yanuncay, se caracteriza por presentar una baja alcalinidad, baja turbiedad y un alto color difícil de tratar.

2.2.2 Descripción de los Procesos de Potabilización

El proceso de potabilización es de forma convencional y cuenta con las siguientes unidades:

- **Captación:** La captación se realiza en el río Yanuncay, aproximadamente a un kilómetro aguas arriba de la planta de tratamiento, para lo cual se construyó un azud transversal al río que permita una captación lateral con un lecho amortiguador de energía disipada en el resalto hidráulico a generarse al pie del azud; el agua es transportada mediante tuberías hacia el desarenador (Ver ilustración 1).

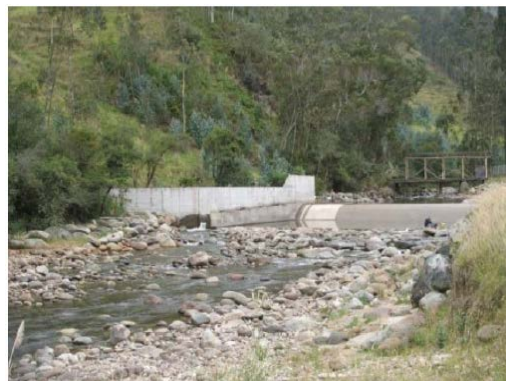


Ilustración 1: Vista frontal de la captación.

- **Desarenador:** El Desarenador es de tipo convencional de una sola cámara, y cuenta con una rejilla de diámetro de 600 mm, por la cual pasa el agua, y las partículas por efecto de la gravedad se hunden hasta llegar a la base del desarenador; posteriormente estas partículas son devueltas al río, mediante operación y mantenimiento de la unidad. (6)
- **Medición de Caudal:** El caudal que ingresa no siempre es el mismo, para esto se cuenta con medidores automáticos y compuertas que permiten regular el caudal que entra a la planta (Ver ilustración 2).



Ilustración 2: Medición de caudal proveniente de la captación.

- **Mezcla rápida (Coagulación):** Dependiendo de las condiciones del agua cruda, tales como, turbiedad, color, pH, en este proceso se dosifican los reactivos. Se dispone de 4 cámaras, como se muestra en la ilustración 3:



Ilustración 3: Dosificación de reactivos al agua.

- a. En la primera cámara se coloca una solución de cal (al 1%), a través de un difusor superficial.
 - b. En la segunda cámara, previo al segundo salto hidráulico se emplea la solución de sulfato de aluminio (2%), mediante un difusor sumergido construido una tubería de PVC perforada.
 - c. En la tercera cámara se disponen los puntos de aplicación de la solución de sulfato de aluminio mediante un difusor sumergido construido una tubería de PVC perforada.
 - d. En la cuarta cámara se aplica solución de poli electrolito (0.3%) mediante difusor sumergido construido en tubería de acero al carbono, perforada y conectada mediante bridas. (7)
- **Floculación:** En seguida del proceso de coagulación, el agua circula por una arqueta de reparto conocida como compuerta, hacia cuatro líneas de floculación con capacidad 124.65m³ divididas por un tabique central y en el cual las partículas desestabilizadas “flocs” en el proceso anterior ganan mayor peso y tamaño (6). La primera etapa de floculación es mecánica, y la segunda hidráulica.

- **Floculación Mecánica:** Son agitadores tipo turbina de eje vertical con motores, que pueden ser calibrados, para conseguir la disposición correcta de la velocidad de giro, dependiendo de las necesidades.
- **Floculación Hidráulica:** Son floculadores de flujo vertical; aquí se consigue la estabilidad de los “flocs” generados en las etapas anteriores.



Ilustración 4: Proceso de Floculación (formación de flocs).

- **Sedimentación:** En esta etapa, el agua pierde su turbiedad a través de la separación de las fases sólida y líquida (sedimentación de los flocs); la planta de tratamiento cuenta con cuatro sedimentadores de flujo ascendente con 250 placas planas dispuestas a 60mm entre ellas y con una inclinación de 60°. El propósito de esta operación, es que aquellas partículas aún existentes en el agua floculada golpeen estas placas y se retengan en las mismas, para posteriormente por acción de la gravedad alcanzar el fondo del sedimentador (Ilustración 5).

El agua sedimentada de cada decantador es recolectada por 50 tubos perforados, los cuales desembocan a un caudal común.

Desde el proceso de coagulación hasta el de sedimentación se logra eliminar el 90% de impurezas del agua (6).



Ilustración 5: Sedimentación de partículas.

- **Filtración:** Esta fase consta de 6 unidades de filtrado con un lecho de arena silíceo de 1.02m de espesor, consiguiendo eliminar el 10% de partículas que no se eliminaron anteriormente. La limpieza de filtros se da cada cierto tiempo mediante inyección de aire y agua que circula de abajo hacia arriba, creando corrientes que eliminan las partículas retenidas en los mismos. El agua de lavado es transportada por gravedad hacia un depósito de recuperación de agua de lavado de filtros y mediante bombeo es dirigido hacia el espesador de fangos.



Ilustración 6: Cámara de Filtración.

- **Desinfección.** Consta de un edificio de cloración en donde se produce la solución de cloro que se adiciona al agua filtrada; y de una cámara de contacto de cloro construida en forma de laberintos rectos y curvos para una apropiada homogenización y mezcla del agua y el cloro.



Ilustración 7: Cámara de medición de cloro, pH y turbiedad.

En esta etapa se mide los parámetros de calidad: turbiedad, pH y cloro residual para verificar si se cumple con los requerimientos de la planta; para esto se procede a una medición en línea.



Ilustración 8: Monitoreo del cloro en el agua.

- **Almacenamiento:** Etapa final del proceso, en donde el agua se almacena en un tanque de forma hexagonal dividido en dos depósitos mediante un dique, cada uno almacena 2500m³ de agua potable, que por último será distribuida a los distintos tanques situados en algunas zonas de la ciudad. Se mide la turbiedad, el color, y el cloro residual automáticamente a la salida del tanque, con el fin de determinar si cumple los requisitos de calidad. Se debe acotar, que desde la filtración el agua no tiene contacto con la luz hasta el momento de salir en los hogares.



Ilustración 9: Almacenamiento del agua potable.

En todas las etapas, se mantienen los respectivos tiempos de contacto, aspecto muy importante para lograr la eficiencia requerida en el proceso.

2.3 LODOS EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SUSTAG

2.3.1 Introducción

Por muchos años se han venido creando varias tecnologías y métodos para el tratamiento de agua potable, pero es hasta hace muy pocos años que se está prestando atención a los lodos producidos tanto en los sedimentadores como en el

lavado de filtro. La práctica común en las plantas potabilizadoras, es descargar estos efluentes directamente en cursos superficiales cercanos, terrenos, o alcantarillados, y debido a sus características físicas y químicas, se convierten en puntos de contaminación con grave lesión al cuerpo receptor y afectando significativamente los usos posteriores del agua.

2.3.2 Origen de los Lodos

El agua captada que ingresa a la planta contiene sólidos suspendidos que son removidos en el proceso de purificación con la ayuda de un coagulante (sulfato de aluminio) y un aglomerante (poli- electrolito), esto ya significa una gran producción de lodos.

Los lodos se acumulan en los sedimentadores y lechos de filtrado, de la siguiente manera:

- **Sedimentador:** Son lodos procedentes de la coagulación, normalmente contienen óxidos hidratados de aluminio, materia orgánica e inorgánica (limos, arcilla, arena fina) que han sido arrastrados por el agua; éstos se van extrayendo intermitente y periódicamente del fondo.
- **Lavado de filtros:** Son similares a los encontrados en los sedimentadores pero en una concentración mucho más baja. En estos se puede encontrar mayor cantidad de materia orgánica, ya que los filtros contribuyen al desarrollo biológico. El agua proveniente del lavado de filtros se la recupera y se la traslada a la cabecera del tratamiento o evacua hacia el desagüe general.



Ilustración 10: Tubería que contiene el agua usada en el lavado de filtros.

2.3.3 Características de los Lodos en Los Sedimentadores

Los lodos provenientes de la planta de tratamiento están compuestos básicamente por:

- Es el producto de las materias presentes en el agua bruta que por la oxidación, coagulación y precipitación han sido retenidas en los sedimentadores.
- Óxidos e hidróxidos procedentes de los coagulantes y otros reactivos que se adicionen.

La cantidad de lodos que se producen están en función de:

- La calidad del agua cruda
- Del Caudal tratado
- De la cantidad de reactivos adicionados. (8)

Los parámetros más importantes en la caracterización de los lodos se encuentran en la Tabla del Anexo 1.

2.3.4 Sistema de Remoción de Lodos en Sedimentadores

Los lodos producidos en algunos procesos de potabilización son considerados como elementos de repercusión ambiental, y deben recibir un tratamiento previo tanto para su posible aprovechamiento, como para su vertido, y tomando como marco referencial la legislación ambiental existente.

- **Sedimentadores:** En las cuatro unidades de decantación por efecto de la gravedad los lodos se han sedimentado en el fondo; para su extracción se dispone de un sistema neumático de valvulería (válvulas de manguitos), y por diferencia de carga hidráulica son depositados en un tanque espesador de fangos.

En el fondo de cada decantador, una tubería de PVC 200mm con agujeros en la parte inferior en forma de flauta, extrae la mayor cantidad de lodos en cada ciclo de purgado el mismo que ocurre en 17 segundos cada 60 minutos. Esta fase tiene un sistema de control automático. (9)



Ilustración 11: Válvulas de manguitos para extracción de lodos.

- **Lavado:** Para el lavado de los filtros, se usa corrientes de aire y agua que permiten desprender las impurezas hacia el canal de evacuación y recolectarlo en el tanque de recuperación de agua de lavado de filtros. El agua que ha sido almacenada en este depósito es bombeada hacia el tanque de espesamiento de lodos. (9)
- **Espesador de fangos:** La finalidad en esta unidad es la concentración y reducción de volumen de lodos, para ello se cuenta con un depósito circular de 9m de diámetro que consiste en una estructura metálica con rasquetas barredoras del fondo, y accionadas por un motor reductor central, de tal manera que al depositarse los lodos y la materia orgánica estas rasquetas las arrastran al centro del tanque donde se encuentra un pozo que los recoge para ser evacuados.



Ilustración 12: Espesador de Lodos.

2.3.5 Deshidratación de Lodos PTAP Sústag.

Este proceso se caracteriza por la reducción del contenido de humedad del lodo proveniente del espesador, de tal manera que haya una mayor concentración de sólidos, menor volumen y mejor facilidad de manipulación. Este fenómeno puede darse de forma natural, mediante lechos de secado, o en forma artificial aumentando la gravedad o presión externa, a través de filtros de presión, filtros banda y centrifugación.

La planta de Tratamiento de agua potable Sústag cuenta con el filtro banda, el cual consiste en una banda continua de tela filtrante colocada sobre unos rodillos giratorios en la que se deshidrata el lodo transformándolo en una torta pastosa.

Esta fase ocurre en tres etapas:

- a. El proceso de deshidratación comienza con el acondicionamiento o floculación química (adición de polielectrolito orgánico) en donde se alcanza una primera disociación del sólido y líquido ya que la materia se aglomera en copos.

- b. El lodo floculado llega a la zona de filtración por gravedad, a través de una banda filtrante por la cual pasará el agua sobrante.
- c. Posteriormente la capa espesada de lodo entra en la etapa de prensado, en donde el lodo se coloca entre dos bandas filtrantes, que al someterlo simultáneamente a una elevada presión y transporte a lo largo del sistema de rodillos, extrae una cantidad suplementaria de agua. Por último estas dos banda se separan y la torta de lodo es extraído por rasquetas hacia la banda transportadora.



Ilustración 13: Deshidratación de Lodos mediante Filtro Banda.

2.4 TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

2.4.1 Introducción

La producción de aguas residuales surge inevitablemente del uso del agua en las actividades humanas e industriales. Estas actividades modifican las propiedades del agua y con ello su utilización y aplicación en posteriores actividades. El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es el reducir la contaminación, para hacer posible el vertido de las mismas a los medios acuáticos naturales y en otros casos para el uso en la agricultura, industria u otros fines.



Para esto se debe cumplir con la normativa vigente en la zona con el fin del cumplir los objetivos y el grado de depuración que éstos exigen para cada contaminante.

2.4.2 Tipos de Tratamiento

La selección del método y de los procesos de tratamiento es muy dependiente de los constituyentes a remover y el grado de remoción de los mismos. Se disponen de diversos tipos, cada uno con sus respectivas subdivisiones. Sin embargo quien toma la decisión de tipo de tratamiento a usar es el diseñador. A continuación se presenta la Tabla 4, en dónde se puede observar las opciones típicas para tratamientos de agua residual.

TIPOS DE TRATAMIENTO	PROCESOS
Recolección de aguas residuales.	Sistema convencional por gravedad. Sistema de gravedad para afluente de tanque séptico. Sistema por bombeo para afluente de tanque séptico. Sistema por vacío. Utilización de sistemas alternativos.
Pretratamiento	Tamiz grueso. Tamiz fino. Remoción de arena. Remoción de grasas y aceites.
Tratamiento Primario	Tanques sépticos. Tanques Imhoff. Tanque séptico con reactor de película bacterial adherida.
Tratamiento Secundario	Lodos activados. Filtro percolador y biotorres. Biodiscos. Filtro de arena de flujo intermitente. Filtro de grava con recirculación. Filtro de turba. Lagunas. Humedales artificiales. Tratamiento Acuático.
Tratamiento Terciario	Tratamiento en el suelo. Filtración rápida. Humedales artificiales. Desinfección de aguas residuales. Remoción de sólidos residuales con filtración por membrana. Sistemas de tratamiento con reutilización.

Tabla 4 Tratamientos típicos para aguas residuales.

Se pueden diferenciar claramente dos líneas de tratamiento en una PTAR, que son: la línea de agua y la línea de lodos.



2.4.2.1 Línea de agua.

Dividida en etapas de tratamiento y cada una con objetivos claros y diferentes. Esta línea es primordial ya que de ésta depende el buen funcionamiento y rendimiento de las siguientes etapas. En una línea de agua de tratamiento convencional se tienen las siguientes etapas:

- Pretratamientos
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

Pretratamientos.

El objetivo principal del pretratamiento es eliminar toda materia gruesa y/o visible que se encuentre presente en las aguas residuales. De no existir esta etapa las materias pasarían a los procesos posteriores, ocasionando problemas y deficiencias en el sistema de tratamiento de las aguas residuales (4).

La materia a ser eliminada mediante estas operaciones son:

- a) Los residuos sólidos o basuras: principalmente para evitar atascamientos en el sistema.
- b) Las partículas discretas sedimentables o arenas: se las conoce por ser perjudiciales para los procesos siguientes de depuración (M.O., DBO, SS, etc.). Otro efecto de estas partículas es que producen generalmente abrasión en los mecanismos, y en otros casos su sedimentación inadecuada perjudica al flujo del agua.
- c) Las grasas, flotantes y espuma: muchas veces estas pueden surgir a la superficie y pegarse a los objetos, pero principalmente dificultan la el paso de aire hacia la masa de agua en los procesos biológicos.

Las operaciones comprendidas en esta etapa son: desbaste, tamizado, dilaceración, desarenado, desengrasado y la homogenización.

- **Desbaste:** El objetivo principal del desbaste es eliminar los residuos sólidos que son arrastrados por las aguas residuales, esto se consigue al hacer pasar el agua a través de barrotes verticales o ligeramente inclinados, con una determinada separación entre ellos en función del tamaño del material que se desea retener en este punto (4).

En ocasiones es necesario el uso de un pozo de gruesos, con el fin de que la arena en exceso y los sólidos de mayor tamaño sean depositados, sin causar problemas en el proceso de desarenado.



- **Tamizado:** Consiste en una filtración sobre soporte delgado perforado, sus objetivos son los mismos que se busca con el desbaste, es decir la eliminación de la materia que por su tamaño pueda interferir luego en los procesos del tratamiento. Según el diámetro de los orificios de paso del tamiz, tenemos: Microtamizado y Macrotamizado.

Actualmente se recurre al uso de los tamices para pretratamientos en PTAR, su uso es aconsejado cuando se tiene aguas que presentan grandes cantidades de SS, flotantes, residuos y vertidos industriales del sector alimentario. Pero no se recomienda su uso cuando se tiene un gran contenido de aceites y grasas en el agua (4).

- **Dilaceración:** Es una alternativa frente al uso de rejillas y de tamices gruesos; su función es triturar los sólidos gruesos sin separarlos del flujo, para mejorar las operaciones y procesos que se llevan a cabo luego en la línea de tratamiento. Los sólidos son triturados para conseguir partículas de tamaño menor y más uniforme, las mismas que se incorporan al flujo para luego ser eliminadas en los procesos posteriores. Son muy útiles en casos en los que se usa bombas ya que se evita problemas de obstrucciones producidas generalmente por trapos y objetos de gran tamaño (10).

Esta operación es muy cuestionada y en la actualidad casi ha desaparecido en la mayoría de las instalaciones. Existen una gran diferencia de opiniones y puntos de vista sobre el uso de dilaceradores en PTAR. Una opinión defiende el hecho de que no se debe reintegrar al proceso la materia que ya ha sido retirada, mientras que otra sostiene, que una vez triturados, el manejo de los sólidos es mucho más fácil (10).

- **Desarenado:** El desarenador tiene como función eliminar las materias pesadas que superan la velocidad de sedimentación o con un peso específico mayor al de los sólidos putrescibles. Generalmente son partículas con un tamaño >200 micras, que al ser retiradas del agua evitan la formación de sedimentos en los canales y las conducciones, protegiendo de la abrasión, equipos como las bombas, y evitando sobrecargas en los siguientes procesos (4).

Esta operación está diseñada para eliminar “arenas”, partículas minerales, y materia de origen orgánico como cáscaras de alimentos, granos de café, semillas, fragmentos de metal, entre otros. La forma de ingreso de esta materia, así como de arenas y gravas, hacia la PTAR es mayor cuando se tiene un alcantarillado combinado, y las aguas lluvias los arrastran en mayor cantidad.



Comúnmente los desarenadores se ubican después de las unidades de desbaste y antes de los tanques de sedimentación primaria, existiendo casos en los que el desarenador antecede al desbaste (10).

El fundamento de los desarenadores está relacionado con el fenómeno de decantación libre, que se interpreta a través de a fórmulas de Stokes, Newton y Allen para diferentes regímenes. Lo que se calcula es la velocidad de sedimentación de las partículas esféricas, las mismas que durante este proceso no sufren interferencia entre sí depositándose independientemente; es decir se trata de partículas discretas.

Hay tres tipos de desarenadores (10), que son: Desarenadores de flujo horizontal, de diseño cuadrado o rectangular, Desarenadores de aireados y Desarenadores de vórtice.

- **Desengrasado:** El agua residual proveniente de los restaurantes, lavanderías y de estaciones de servicio contienen grandes cantidades de grasas, aceites y detergentes. El objetivo del desengrasado es eliminar estos elementos y otros materiales flotantes, que pueden interferir en los procesos siguientes de la línea de tratamiento. Este proceso no siempre aparece en los pretratamientos en las PTAR. Pero cuando se tiene este proceso, se emplea un sistema que combina la remoción de arena mediante aireación y la remoción de espuma y natas por barrido superficial.

El desengrasado puede ser de dos formas, estático o mediante infusión de aire para desemulsionar las grasas y conseguir una mejor flotación de las mismas (4).

- **Homogeneización:** La homogeneización del caudal previa a las operaciones y siguientes procesos puede ser llevada a cabo de dos formas: en línea o en derivación. La primera es usada cuando se pretende homogeneizar cargas afluentes a la planta; mientras que homogeneización en derivación se emplea cuando se desea absorber la primera descarga de las redes de alcantarillado unitarias (10).
- **Otras operaciones de pretratamiento:** Son usadas para eliminar las grasas y espumas antes de la decantación primaria, con esto se busca mejorar la trabajabilidad de las aguas residuales. Estas operaciones son: preaireación y la floculación.



- **Preaireación:** El objetivo fundamental es el de conseguir una distribución más uniforme de sólidos en suspensión y de los flotantes, además:
 - ❖ Mejorar la tratabilidad del agua.
 - ❖ Aumentar la eliminación de DBO.
 - ❖ Asegurar la separación de grasas y arenas, control de olores y floculación (10).
- **Floculación:** A pesar de que no se suele incluir normalmente en las instalaciones típicas de tratamiento, se la puede tomar en cuenta su uso en los siguientes casos:
 - ❖ Cuando se quiere aumentar la eliminación de los sólidos en suspensión y la DBO en las instalaciones de decantación primaria.
 - ❖ Cuando se requiere acondicionar el agua residual que contiene gran cantidad de vertidos industriales.
 - ❖ También cuando se busca mejorar la eficiencia de decantadores secundarios, especialmente cuando se emplean sistemas de lodos activados.

Tratamiento Primario.

Estos tratamientos tienen como objetivo la reducción de los sólidos en suspensión y materia orgánica presentes en el agua residual. Dentro de estos sólidos se encuentran incluidos los sólidos sedimentables, sólidos flotables y parte de los sólidos coloidales (tamaño entre 10^{-3} y 10 micras). Los tamaños >200 micras ya fueron eliminados en el desarenador.

Los sólidos suspendidos están formados en parte por materia orgánica, por tanto en el tratamiento primario se va a tener una reducción en la demanda bioquímica de oxígeno, y la contaminación bacteriológica.

Cuando el agua requiere sólo una pequeña depuración, este proceso puede suprimirse; no obstante cuando el vertido del agua es al mar, los procesos de desbaste y primarios pueden ser los únicos necesarios (4).

Existe un gran número de tratamientos que pueden ser considerados como primarios (filtración, tamizado, lagunas, fosas sépticas, tanques Imhoff, etc.) los principales procesos usados para la depuración de aguas residuales se pueden clasificar de la siguiente manera y mostrados en la Tabla 5:

- Procesos de Separación sólido-líquido.
- Procesos de mejoramiento.



Procesos de separación sólido-líquido	Procesos complementarios de mejoramiento
Sedimentación (decantación primaria)	Floculación
Flotación	Coagulación (proceso físico-químico)
Proceso Mixto (decantación-flotación)	

Tabla 5: Clasificación típica de los tratamientos primarios.

El CEPIS establece que los tratamientos primarios consisten principalmente en la remoción de sólidos suspendidos floculantes, sea mediante sedimentación o floculación; en la neutralización de la acidez o de la alcalinidad en exceso, y en la remoción de compuestos orgánicos a través de la precipitación química, siendo posible en algunos casos usar la coagulación como un proceso auxiliar a la sedimentación.

Se hace un gran énfasis en los tratamientos primarios para aguas residuales, ya que su adecuada y eficiente operación garantiza la reducción de la carga contaminante en todo el sistema. A continuación se presenta una breve descripción de los principales procesos y operaciones:

- **Sedimentación:** Es la separación de los sólidos mediante la gravedad, por diferencia entre el peso específico del líquido y el de las partículas. La sedimentación es el proceso más simple y el más usado en el momento de tratar aguas residuales. En ciertos casos puede llegar a usarse incluso como proceso secundario en tratamientos biológicos de aguas residuales (4).

La sedimentación se rige bajo dos parámetros de diseño muy importantes que son: velocidad ascensional o carga superficial y el tiempo de retención.

El tipo de sedimentador para tratamiento de agua residual difiere del usado en el tratamiento de agua potable, en donde se usan sedimentadores con recirculación, mientras que en las aguas residuales son estáticos.

La recirculación no es usada debido a que al contener materia orgánica, ésta al retornar al sistema puede producir un excesivo consumo de oxígeno, pudiendo entrar en anaerobiosis, produciendo gases y la flotación de partículas, por lo que los tiempos de retención en los sedimentadores primarios deben ser limitados por lo que juegan un papel muy importante.

- **Flotación por aire disuelto:** La flotación es un proceso de separación de líquido-sólido utilizado para la remoción de materias como grasas, aceites, material fibroso y otros sólidos flotables, es decir que tienen densidad menor a la del agua (11). Para la remoción de estas materias es necesario



que se aplique aire a presión, por lo que el perfeccionamiento de este tratamiento ha conducido al proceso de *flotación por aire disuelto (FAD)*, que además cumple con los objetivos de:

- Reducción de materias flotantes, que es lo que se busca mediante la flotación.
 - Reducción de sólidos suspendidos.
- **Proceso mixto de Decantación-Flotación:** Este proceso surge como respuesta al hecho de que muchas veces no se consigue la formación de un enlace adecuado entre las partículas que se desean quitar y las burbujas de aire. Por tanto se tendrán partículas que no flotarán y que en casos podrán sedimentarse u otros salir con el efluente. Para dar solución a este problema se puede considerar el uso de un decantador-flotador, que consiste en un sedimentador convencional junto con un sistema de presurización explicado anteriormente.
 - **Tanques Imhoff:** Son unidades de tratamiento de agua residual en donde se combinan los procesos de sedimentación y digestión anaerobia de los sólidos suspendidos removidos (11).

El objetivo del uso de estos tanques es como tratamiento primario, ya que la remoción de DBO como de sólidos suspendidos es menor en comparación a los sistemas biológicos. No obstante, al tener un sistema de tratamiento por etapas en las cuales se pueda ir satisfaciendo poco a poco las normas, el uso de los tanques Imhoff son una alternativa viable.

Los tanques Imhoff deben cumplir ciertos criterios de diseño como son: garantizar una distribución uniforme de los sólidos en el compartimento de digestión anaeróbica, las instalaciones de entrada y salida deben ser diseñadas para que sean intercambiables, las cámaras deben estar diseñadas de forma que las burbujas de gas no entren al tanque de sedimentación y finalmente los gases deben ser recogidos por cámaras de ventilación; con el fin de garantizar un funcionamiento y una eficiencia adecuada.

- **Neutralización:** Es un proceso usado cuando se tienen aguas residuales procedentes de minería y de industrias, las mismas que presentan una alta alcalinidad y acidez. Estas aguas tienen que ser sometidas por tanto a un tratamiento químico de neutralización antes de pasar a un tratamiento químico o biológico.



Se ha podido observar que los procesos anteriores funcionan adecuadamente para eliminar sólidos sedimentables y flotables, sin embargo para aumentar la eficiencia del proceso se tiene que eliminar los sólidos coloidales, esto se consigue mediante los procesos de floculación y de coagulación.

- **Coagulación:** El objetivo principal de la coagulación es el de conseguir mejores rendimientos en el tratamiento del agua potable que los alcanzados con los procesos anteriores, se debe buscar la eliminación de los coloides estables que se encuentran formando parte de los sólidos suspendidos. Este proceso puede llevarse a cabo de forma química al igual que en el tratamiento de agua potable, o bien por vía biológica que es uno de los criterios en el diseño de las instalaciones para los procesos de tratamiento secundario.
- **Floculación:** El agua residual pre tratada presenta una gran cantidad de sólidos coloidales que están desestabilizados, esto quiere decir, que debido a que su peso es escaso no pueden ser eliminados en la sedimentación. Por tanto para conseguir una reducción es necesario que se pueda aumentar su tamaño (4). La floculación se encarga de este proceso agregando o concentrando una mayor cantidad de partículas, para dar formación a un flóculo adecuado que pueda sedimentarse posteriormente con facilidad. La floculación puede lograrse mediante aireación, a través de los difusores de aire o se tiene también por medios mecánicos mediante la incorporación de un floculador en el centro del sedimentador.

Tratamiento Secundario.

El tratamiento secundario del agua residual, también conocido como tratamiento biológico, se utiliza para convertir la materia orgánica que se encuentra finamente dividida, en flóculos biológicos grandes, sedimentables y de naturaleza orgánica, que puedan ser eliminados en los lodos que finalmente sedimentan. Se pueden combinar estos procesos con los de pretratamiento y de tratamiento primario. Se conoce que la sedimentación primaria tiene una alta efectividad eliminando sólidos sedimentables, mientras que los biológicos tienen mayor efectividad removiendo compuestos orgánicos solubles o partículas coloidales. Algunos procesos de tratamiento secundario necesitan obligatoriamente de un sistema de tratamiento primario para funcionar adecuadamente, esto ocurre con las lagunas de estabilización, lagunas aireadas y sistemas de aireación prolongada (10).



Existe una gran variedad de procesos biológicos como se muestra en la Tabla 4, pero los de mayor aplicación y comunes son:

- **Proceso de lodos activados:** Este proceso involucra la aireación del afluente tratado en los procesos anteriores. El empleo de este proceso es una gran alternativa ya que se tiene un gran variedad de microorganismos que son capaces de remover la materia orgánica presente en el agua residual, los mismo que combinados con las condiciones ofrecidas por los reactores dan como resultado una biodegradación adecuada.

Los lodos activados son sedimentos de las aguas residuales crudas que han sido previamente agitados en presencia de abundante oxígeno atmosférico.

Los lodos activados difieren de los otros lodos tanto en su aspecto como en sus características físicas y composición biológica, este tipo de lodo tiene un olor particular a tierra húmeda y mohosa cuando se encuentra en recirculación en los estanques de aireación.

En este proceso las bacterias son los microorganismos que cumplen el papel más importante, por ser los responsables de la descomposición de la materia orgánica junto con los protozoos y rotíferos (12).

- **Lagunas aireadas:** Este tipo de lagunas se desarrollan a partir de las lagunas de estabilización facultativas, en dónde la principal función del proceso es la conversión de la materia orgánica (12); en este tipo de depósito se trata el agua residual de forma continua con o sin recirculación de sólidos. El aporte de oxígeno se logra mediante la incorporación de aireadores superficiales con o sin sistema de difusión de aire, y es en donde juega un papel muy importante la turbulencia del agua creada por los mismos para mantener en suspensión el contenido del depósito (10).

Se debe conocer que en esta laguna es posible llevar a cabo la nitrificación, sin embargo el grado de la misma depende de la temperatura del agua residual como del funcionamiento adecuado del sistema.

En el momento del diseño hay que tomar en cuenta aspectos esenciales como:

- Eliminación de DBO.
- Características del efluente.
- La demanda de oxígeno.
- Los efectos de la temperatura.



- La demanda energética para mezclado.
- Separación de sólidos.

- **Filtros percoladores:** Los filtros percoladores modernos se componen de un lecho filtrante al que se adhieren los microorganismos, y a través del cual percola el agua residual, esto es el funcionamiento básico de este método. Pueden ser circulares cuando el lecho filtrante es de piedra y ser cuadrados, circulares o de otras formas cuando el lecho filtrante es plástico.

La comunidad biológica que habita en este medio son bacterias facultativas, nitrificantes, aerobias, anaerobias, hongos, algas y protozoos (12). Las principales consideraciones de diseño para estos sistemas son:

- Las cargas orgánicas e hidráulicas.
- El grado de tratamiento que se desea proporcionar.

Siendo posible clasificar a los filtros en función de la carga orgánica en: filtros de baja carga, filtros de media y alta carga, filtros de muy alta carga, filtros de desbaste y filtros de dos etapas.

- **Biodiscos (RBCs):** Consisten en una serie de discos circulares de poliestireno o cloruro de polivinilo, que giran sobre un eje lentamente; los discos suelen estar parcialmente sumergidos en el agua residual (12).

Los Biodiscos pueden ser usados como un tratamiento secundario, así como para la nitrificación y desnitrificación estacional o permanente. Son muy eficientes debido a su alto contenido de biomasa.

Para el diseño de un sistema de Biodiscos se tiene que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Una distribución en etapas de los sistemas de Biodiscos.
 - Los criterios de carga.
 - Las características finales de la agua tratada o del efluente.
 - Los tanques de sedimentación.
- **Estanques de estabilización:** También conocidos como lagunas de estabilización; es una masa de agua contenida en un tanque excavado en el terreno y poco profundo. Son usadas para estabilizar aguas residuales o desechos orgánicos. Su uso es primordialmente para tratamiento de aguas residuales industriales y mezclas de aguas residuales industriales y domésticas que sean susceptibles de tratamiento biológico.



Estos sistemas se pueden clasificar en función de la naturaleza de la actividad biológica que tiene lugar (10); pueden ser: aerobias, aerobias-anaerobias (facultativas), anaerobias y de maduración o terciarias.

- **Lagunas Aerobias:** Son grandes depósitos de terreno excavado, de poca profundidad que se emplean para el tratamiento de agua residual por medio de medios naturales, que incluyen el uso de bacterias y algas; estas lagunas presentan condiciones aerobias en toda su profundidad. Existen dos tipos de lagunas aerobias:
 - a. Una cuyo objetivo es maximizar la producción de algas.
 - b. Otra cuyo objetivo es maximizar la cantidad de oxígeno producido.

La eficacia de estas lagunas en la eliminación de la DBO_5 , normalmente en un 95%; el periodo de retención de estas lagunas usualmente es de 5 días. Se las usa en combinación con otras lagunas.

- **Lagunas Aerobias-Anaerobias o Facultativas:** En estas lagunas la estabilización se lleva a cabo mediante una combinación de bacterias facultativas, aerobias y anaerobias. En estas lagunas existen tres zona; una zona superficial en la cual se encuentran ubicadas las bacterias aerobias, una zona intermedia que es parcialmente aerobia y anaerobia en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas; y una zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados a través de las bacterias anaerobias. Estas lagunas son las más frecuentes y son usadas para el tratamiento de aguas residuales domésticas y una gran variedad de residuos industriales.
- **Lagunas Anaerobias:** Son utilizadas para el tratamiento de agua residual con un alto contenido de materia orgánica, y con una alta concentración de sólidos. Son generalmente profundas. Los residuos a ser tratados se depositan en el fondo de la laguna y el efluente parcialmente clarificado es vertido a un nuevo proceso. Estas lagunas son anaerobias en toda su profundidad, excepto en una pequeña franja cercana a la superficie. Presentan una eficiencia de eliminación de DBO_5 superior al 70%, y en algunos casos se logra hasta un 85% (12).
- **Lagunas de Maduración o Terciarias:** Son lagunas diseñadas para mejorar la calidad de los efluentes secundarios y para la nitrificación estacional. Su funcionamiento implica la respiración endógena de los sólidos biológicos residuales, así como la conversión del amoníaco en



nitrate mediante el suministro de oxígeno por reaeración superficial y por la presencia de algas (12). Para mantener las condiciones aerobias en estas lagunas las cargas deben ser muy bajas, y se debe considerar un tiempo de retención mínimo entre 18 a 20 días, con el fin de conseguir una respiración endógena completa de los sólidos residuales.

Tratamiento Terciario.

El tratamiento terciario o también conocido como avanzado, es que se encarga de la eliminación sólidos suspendidos y de las sustancias disueltas que permanecen en el agua residual después del tratamiento biológico convencional.

Estas sustancias pueden ser materia orgánica, sólidos en suspensión, y pueden ser de diferente naturaleza, pudiendo ser desde inorgánicos muy simples como son el calcio, el potasio, el sulfato, el nitrato, y el fosfato, hasta un número mayor de compuestos orgánicos sintéticos (10).

Los procesos terciarios de tratamiento de aguas residuales pueden clasificarse en función del tipo de operación o proceso unitario, o por el objeto principal de eliminación que se desea lograr. La Tabla 6 muestra una comparación de las diversas operaciones y procesos para la eliminación de constituyentes; estos tipos de operaciones y procesos aplicables dependen también del tipo de agua residual tratada, como se observa en dicha tabla.

Principal función de eliminación	Descripción de la operación o del proceso	Tipo de agua residual tratada ^a
Eliminación de sólidos suspendidos	Filtración Microtamices	ETP, ETS ETS
Oxidación de amoníaco	Nitrificación Biológica	ETP, ETB, ETS
Eliminación de nitrógeno	Nitrificación/Desnitrificación Biológica	ETP, ETS
Eliminación de nitratos	Desnitrificación biológica en etapas separadas	ETS+nitrificación
Eliminación biológica de fósforo	Eliminación de fósforo en línea principal ^b	ARC, ETP
	Eliminación de fósforo en línea auxiliar	FAR
Eliminación biológica conjunta de nitrógeno y fósforo	Nitrificación/desnitrificación biológica y eliminación de fósforo	ARC, ETP
Eliminación física o química de nitrógeno	Arrastre por aire	ETS
	Cloración al breakpoint	ETS + filtración
	Intercambio iónico	ETS + filtración



Eliminación de fósforo por adición de reactivos químicos	Precipitación química con sales metálicas	ARC, ETP, ETB, ETS
	Precipitación química con cal	ARC, ETP, ETS
Eliminación de compuestos tóxicos y materia orgánica refractaria	Adsorción sobre carbono	ETS + filtración
	Fangos activados-carbón activado en polvo	ETP
	Oxidación química	ETS + filtración
Eliminación de sólidos inorgánicos disueltos	Precipitación química	ARC, ETP, ETB, ETS
	Intercambio iónico	ETS + filtración
	Ultrafiltración	ETS + filtración
	Osmosis inversa	ETS + filtración
	Electrodialisis	ETS + filtración + adsorción sobre carbono
Compuestos orgánicos volátiles	Volatilización y arrastre con gas	ARC, ETP

^a ETP =

Efluente de tratamiento primario

ETB =

efluente de tratamiento biológico (sin decantación)

ETS =

Efluente de tratamiento secundario (con decantación)

ARC =

Agua residual cruda (no tratada)

FAR =

Fango activado recirculado

^b El proceso de eliminación se lleva a cabo en la línea de tratamiento principal en lugar de en la línea secundaria.

Tabla 6. Eliminación de constituyentes por medio de operaciones y procesos de tratamiento avanzados (10).

2.4.2.2 Línea de Lodos.

Gran parte de los constituyentes producidos por el agua residual y eliminados en las plantas de tratamiento contienen en su mayor parte basuras, espumas, arena pero principalmente el lodo (10), que es producido en las diferentes etapas de proceso y acorde a la tecnología usada para el mismo (primarios, secundarios y terciarios).

A diferencia de los lodos producidos en el tratamiento de agua potable, los lodos provenientes de los tratamientos de agua residual tienen una alta composición orgánica, por lo que si no se da un tratamiento adecuado estos provocan olores y putrefacción. También tienen cargas orgánicas que pueden provocar problemas sanitarios, siendo necesario que sean sometidos a un tratamiento antes de su disposición final (13).



El proceso del tratamiento de lodos implica las siguientes etapas, mostradas en la Ilustración 14:

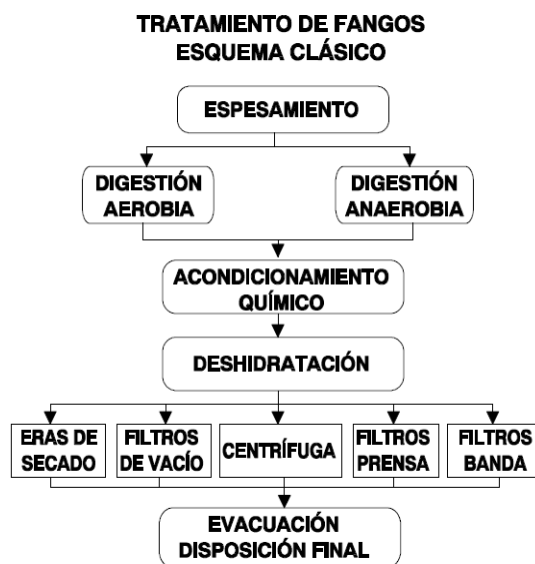


Ilustración 14 Esquema de tratamiento de Lodos (12).

Los lodos son líquidos con concentraciones de sólidos que van desde 0,5 a 10 %, es decir están constituidos mayoritariamente por agua. Se pueden generar en distintas etapas del tratamiento de efluentes: tratamientos físicos, tratamientos fisicoquímicos y tratamientos biológicos.

Independientemente del tratamiento o disposición final de los lodos, en la amplia mayoría de los casos será necesaria una etapa de deshidratación a efectos de reducir el volumen y transformarlos en sólidos.

El destino final de los lodos tratados dependerá de factores como: la línea de tratamiento y de gestión de lodos que viene dada por una normativa. Tradicionalmente el destino final ha sido: aplicación al terreno, venta comercial, depósito en vertederos, la incineración y el vertido al mar (actualmente prohibido por la legislación). Sin embargo es posible darles otros usos, los mismos que sean amigables al medio ambiente y que se conviertan en una materia prima para la fabricación de otros materiales de construcción, contribuyendo de esta forma a un desarrollo sostenible basado en las 4R:

- R: Reciclar el lodo.
- R: Reducir la contaminación.
- R: Re-potenciar un producto existente y las plantas de tratamiento.
- R: Recuperar el medio ambiente y los cauces de los ríos.



Es posible la combinación de operaciones unitarias, indicadas en la ilustración 14, para poder llevar a cabo un proceso de tratamiento de lodos.

- **Espesamiento:** El objetivo de los espesadores es separar las dos fases (sólido y agua) de forma efectiva, aumentando las concentraciones de sólidos de manera que los volúmenes disminuyan y la manipulación y disposición final sea más fácil. Esta disminución de volumen es beneficiosa para los procesos siguientes ya que se reducen los volúmenes y equipos necesarios, la cantidad de reactivos para el acondicionamiento, así como la cantidad de calor requerida por los digestores (13).

La tipología de estos espesadores depende de las características de los lodos a tratar, así como las características físicas, químicas y biológicas del lodo juegan un papel muy determinante en la aplicación de uno u otro sistema de espesamiento; los factores más importantes que influyen en esta operación son: tamaño y forma de partículas, viscosidad y temperatura, septicidad y OD, carga eléctrica natural o potencial Z, agua ocluida y tendencias de biofloculación.

Los sistemas más comunes de espesamiento en un PTAR son: por gravedad, por flotación con aire disuelto y por centrifugación continua.

Según la procedencia de los lodos los procesos unitarios aplicables (13), son:

- **Para lodos primarios:** Que presentan características abrasivas, tamaño y forma de partículas muy variables y potencial Z muy variable; además poco sépticos.
 - ❖ Decantador-espesador.
 - ❖ Espesador por gravedad.
 - ❖ Filtro-tamices.
- **Para lodos biológicos y lodos mixtos (primarios y secundarios):** lodos de origen biológico aerobio, con características lubricantes, formados por flóculos de escasa cohesión; tienen gran septicidad y demanda inicial de O_2 .
 - ❖ Decantador-espesador.
 - ❖ Espesador por gravedad.
 - ❖ Flotador.
 - ❖ Centrifugación.
- **Digestión aerobia y anaerobia de lodos:** Es un proceso en el cual se produce una aireación durante un período significativo de tiempo; este



proceso es aplicable a todo tipo de lodo, lo que da como resultado una destrucción de células y una disminución de sólidos en suspensión volátiles (SSV). El objetivo fundamental de este proceso es reducir el volumen a ser evacuado.

- **Acondicionamiento químico:** La capacidad de perder agua de un lodo puede mejorarse sensiblemente por medio del agregado de aditivos químicos. Estas sustancias cambian las características fisicoquímicas, favoreciendo la eliminación de coloides y del material más disperso.

Los productos químicos comúnmente utilizados son: el cloruro férrico, sulfato de hierro o aluminio y cal, utilizándose además floculantes orgánicos (Polielectrolitos). Las sales de hierro o aluminio actúan como agentes precipitantes (en combinación con cal), floculando los coloides. Los polielectrolitos están siendo cada vez más utilizados debido a su bajo consumo, facilidad de dosificación y elevada eficiencia. Otra ventaja de los Polielectrolitos es que no aumentan la cantidad de sólidos secos presentes en el lodo, mientras que las sales inorgánicas pueden aumentarlos en 20 a 30 % (14).

- **Deshidratación:** Es una operación unitaria física (mecánica) utilizada para reducir el contenido de humedad del lodo por alguna o varias de las siguientes razones (14):
 - Costes en el transporte del lodo hasta el lugar de evacuación final, estos disminuyen a medida que disminuye el volumen de lodo a ser transportado.
 - Ofrece una mejor manipulación que el fango líquido o espesado, en muchas ocasiones puede incluso hasta ser manipulado mediante tractores y con cintas transportadoras.
 - Si el proceso siguiente es el de incineración, la deshidratación es un proceso de suma importancia con el fin de poder aumentar el poder calorífico del lodo.
 - Es una operación necesaria antes del compostaje.

En casos en que la evacuación final sea hacia vertederos controlados, es de suma importancia para evitar problemas de lixiviación.

La pérdida de agua de un lodo puede ocurrir en forma natural por acción de la gravedad o en forma artificial por aumento de la gravedad o presión externa. Estos mecanismos de deshidratación se pueden implementar en distintos tipos de unidades. A continuación, en la Tabla 7 se presenta un resumen de las diferentes tecnologías:

DESHIDRATACIÓN	Mecanismo	Tecnología
	Naturales	Espesadores Lechos de Secado
	Mecánicas o Artificiales (aumento de la gravedad o de presión)	Centrífugas Filtros banda Filtros prensa Filtros de vacío

Tabla 7 Tecnologías de deshidratación.

- **Lechos de Secado:** Los lechos de secado funcionan en forma similar a un filtro por gravedad. Son estanques de muy poca profundidad. El fondo es construido de hormigón con pendiente que permite el drenaje de los líquidos filtrados. La forma de operación consiste en el llenado de los lodos en capas no superiores a los 30cm. Como resultado se obtienen lodos con 60 a 80 % de humedad con tiempos de retención de 10 a 15 días (14).
- **Centrifugación:** La separación sólido - líquido en las centrífugas se da por acción de fuerzas centrífugas, de magnitud normalmente del orden de 10.000 veces mayor a la gravedad. La eficiencia suele ser alta pero generalmente el líquido arrastra sólidos no sedimentables (14). La torta contiene de 60 y 90 % de humedad dependiendo del tipo de sólidos y de la carga utilizada. El acondicionamiento químico del lodo suele mejorar sensiblemente la separación.
- **Filtros Banda:** El principio consiste en escurrir el lodo entre dos bandas sin fin bajo presión. Inicialmente el lodo debe ser acondicionado químicamente en un tanque de mezcla. El lodo acondicionado es colocado sobre la banda inferior donde ocurre drenaje por gravedad. A partir del punto donde las bandas se encuentran el lodo es transportado entre ellas. Las bandas se desplazan entre rodillos que provocan compresión sobre el materia (10). La utilización de rodillos de distinto diámetro permite aumentar la presión y cambiar la dirección de la banda ejerciendo un efecto de cizalladura. Al final del circuito el lodo deshidratado se separa por gravedad con ayuda de un raspador. La parte de la banda que regresa es limpiada en forma continua por medio de chorros de agua (14). El ancho de la banda varía entre 0,5 y 3,5 m, las cargas volumétricas oscilan entre 2 a 5 m³/m.h y las másicas entre 90 a 680 kg/m.h. Dependiendo del tipo de lodos se pueden obtener tortas con 10 a 35 % de sólidos.
- **Filtros prensa:** Estos filtros consisten de una serie de placas que se soportan sobre una estructura de tipo bastidor. Las placas, cuyas



superficies tiene ranuras, están recubiertas por una tela filtrante. Cuando se juntan y presionan las placas se forma una cavidad entre ellas que será progresivamente ocupada por el lodo. Se obtienen tortas con 40 a 60 % de sólidos y una separación prácticamente completa del material en suspensión (14).

- **Filtros al vacío:** Este es un proceso continuo en el cuál un tambor giratorio segmentado cubierto con tela de fieltro se sumerge parcialmente en lodo acondicionado. A medida que gira el tambor la capa de lodo es sacada del tanque, además usando el vacío generado se retira aire del lodo para ayudar a la deshidratación. La velocidad de giro depende de las características del lodo. El tambor se puede dividir en tres secciones en las cuales se dan los siguientes pasos: filtración, lavado y desecado, descarga (10). La carga másica oscila entre 10 a 30 kg/m²h y se logran tortas de lodo con contenidos de sólidos entre 20 y 30 %.
- **Evacuación Final:** Este es el punto más importante para el diseño de una línea de tratamiento de lodos. Tradicionalmente e históricamente la disposición final de lodos consistía en:
 - Vertedero.
 - Incineración.
 - Uso agrícola.

Los vertederos pueden ser exclusivamente para lodos o bien pueden ser también para residuos sólidos urbanos. Sea cual fuere el caso se exige que los lodos cumplan con una humedad que no supere generalmente al 20%, para evitar problemas de lixiviados y de estabilidad de suelos (13).

La incineración de los lodos, requiere de un proceso anterior de deshidratación con el fin de aumentar el poder calorífico del lodo y reducir costos de explotación.

El uso agrícola es una alternativa que permite el aprovechamiento del lodo, ya que no se considera como un desecho. El lodo puede servir como un acondicionador del suelo y como abono. En el primer caso ayuda a retener el agua en el suelo y facilita el crecimiento de las raíces, también mejora la textura del suelo. En el segundo caso sirve como fertilizante químico. El lodo se caracteriza por contener Nitrógeno, Fósforo y Potasio, que son necesarios para el crecimiento de las plantas. Sin embargo no siempre es posible hacer esta disposición final ya que cuando las concentraciones de metales pesados en el lodo son elevadas, son un riesgo para la salud humana (13).



Se puede dar otro uso y otra disposición final a los lodos no sólo generados en las PTAR sino también a los lodos producidos en las PTAP, en este trabajo de investigación se los empleará para la elaboración de materiales de construcción, ya que al aprovechar su contenido químico y las reacciones que éstos elementos podrían tener al mezclarse con la materia prima empleada en la elaboración de ladrillos, morteros y hormigones, se puede generar una matriz cerámica o cementante, respectivamente y el lodo pasa a formar parte de este material de construcción (Ver Anexo 5).

Esto repercute sin duda en el aprovechamiento de un material que está en constante producción, considerándolo un recurso renovable que conlleva a la disminución en la explotación de las canteras de arena y de arcilla, al mismo tiempo que contribuye al medio ambiente con un desarrollo sostenible.

En el Ecuador no se dispone de este tipo de estudios, pero a nivel mundial en países desarrollados ya se cuenta con un plan de manejo de lodos, algunos de estos estudios que son la base para esta investigación son Reutilización de Lodos de Planta de Potabilización en el Tratamiento de Aguas Residuales (15), Nuevas Aplicaciones de Lodos Residuales (16), Utilización de lodo seco de depuradora de aguas residuales como adición en adoquines de hormigón prefabricado (17), Aprovechamiento de Lodos aluminosos generados en sistemas de potabilización, mediante su incorporación como agregado en materiales de construcción (18), Uso potencial de ceniza de lodo de depuradora como sustitución de árido fino en bloques de hormigón prefabricados (19), Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos (20), La “transmutación” sostenible de los residuos para nuevas materias primas en el ámbito del concreto (21), Incorporation of sludges from a water treatment plant in cement mortars (22), Aplicación de lodos de plantas potabilizadoras para elaborar materiales de construcción (23), Materiales alternativos al cemento Portland (24) y Generación, acumulación y distribución de lodos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba (1).

Con estos antecedentes y frente a la constante producción de lodo en las lagunas de la planta lo cual se ve reflejado en los menores tiempos de retención y una menor capacidad de depuración de la planta, se busca una nueva disposición final de este materia acumulada, y frente a los resultados satisfactorios obtenidos en otras investigaciones, se dará este nuevo mecanismo de disposición final de lodos en la ciudad.



2.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UCUBAMBA

2.5.1 Introducción

La planta de tratamiento de agua residual de Ucubamba, es la principal instalación de tratamiento de agua residual en la ciudad de Cuenca; fue concebida en el marco de Primera Fase de los Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad en el año 1999, la planta dispone de un proceso de depuración compuesto por un tratamiento primario y un sistema de tratamiento secundario, compuesto por lagunas de estabilización en dos líneas.

La PTAR de Ucubamba se encuentra ubicada en la República del Ecuador, Provincia del Azuay, a 8.5km del Cantón Cuenca, al Noroeste de la ciudad. El acceso vial a la planta se da a través de la autopista Cuenca-Azogues, así como por la Panamericana Norte, como se muestra en ilustración 15. Se encuentra operando a una altura de 2500 msnm, en un valle de la Región Andina, la temperatura media anual es de 15°C.

La planta tiene una capacidad de tratamiento de 1860 L/s (1) y sirve a una población de 500000 habitantes.

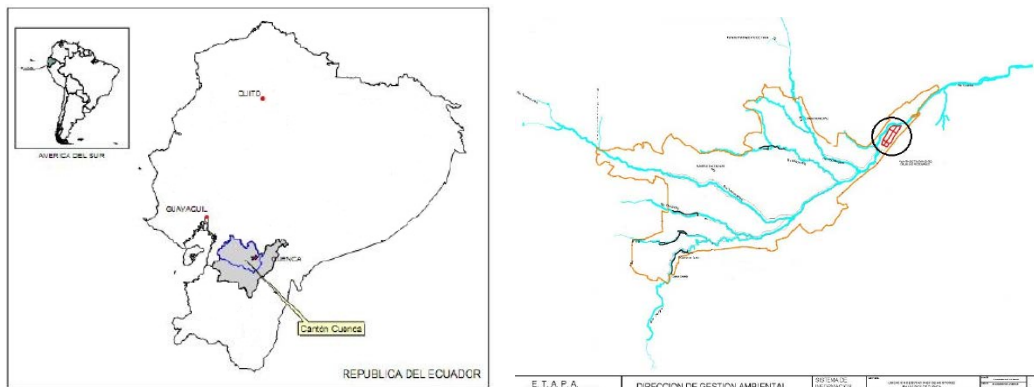


Ilustración 15 Ubicación de la PTAR Ucubamba

2.5.2 Descripción de los Procesos de Depuración.

La PTAR de Ucubamba cuenta con un sistema con los siguientes tipos de tratamientos:

- Estructuras de tratamiento preliminar.
- Lagunas Aereadas.
- Lagunas Facultativas.
- Lagunas de Maduración.



Estructuras de Tratamiento preliminar o Pretratamiento.

Dentro de estas estructuras de pretratamiento se tiene:

- **Cajón de Llegada- By-Pass- Compuerta de Admisión.**

La función principal de esta estructura de llegada es la de actuar como un cajón rompe presión al final del Emisario o Afluente Principal y permitir un rebose de las aguas residuales mediante el By-Pass, mediante su cierre parcial o total en estaciones lluviosas o en períodos de limpieza.

Al mismo tiempo se encarga de asegurar que en el caudal en épocas de lluvia no supere al máximo horario en tiempo seco. Tiene además una pantalla tranquilizadora, con la finalidad de disipar la energía con la que ingresa el agua residual a la planta. Su caudal de diseño es de $3.64\text{m}^3/\text{s}$. En tiempo de sequía se tiene un caudal de llegada de $2.27\text{m}^3/\text{s}$.



Ilustración 16 Cajón de llegada del Afluente a la planta, By-Pass y compuerta de admisión.

- **Cribas mecánicas autolimpiantes:** Las cribas mecánicas autolimpiantes se encuentran ubicados abajo del cajón de llegada. El agua residual para llegar a las cribas es conducida desde el cajón de llegada a través de un canal de transición y caudal, y es dividido en 3 cámaras de iguales dimensiones. Las funciones de las cribas son las de retener y evacuar desechos sólidos cuyo tamaño sea mayor a 20mm, con esto se evita que estos desechos intervengan en los procesos biológicos del sistema de tratamiento de lagunas. La capacidad de remoción de cada criba es de 680L/s, funcionan automáticamente pudiendo ser operadas manualmente de ser necesario. Se encuentra formada por barras rectangulares con un espaciamiento entre ellas de 20mm y con un ángulo de inclinación de 75° , la velocidad de remoción del rastrillo es de 3m/minuto. Adicionalmente se cuenta con una banda transportadora de desechos cribados, los mismos que son continuamente cubiertos con cal para evitar problemas ambientales.



Ilustración 17 Cribas mecánicas autolimpiantes

- **Deflectores de Caudal – Desarenadores – Transportador de arena.**

Los desarenadores se localizan aguas debajo de las cribas, y se conectan entre sí mediante dos canales de conducción, derivación y transición. El objetivo fundamental de esta etapa es el de retener y evacuar materiales o partículas de arena cuyo diámetro sea igual o mayor a 0.2mm, y cuyo peso específico sea igual o mayor a 2.65 gr/cm^3 o con velocidades de sedimentación superiores a las de los sólidos orgánicos putrescibles provenientes del agua residual. Los desarenadores han sido diseñados para que bajo condiciones desfavorables de operación, puedan operar con todo el caudal en una sola unidad, así mismo protegen a los aereadores de la abrasión y del desgaste excesivo. Reducen los depósitos de material inerte en las lagunas. Los deflectores por su parte tienen por objeto reducir la velocidad de ingreso de las aguas residuales a los desarenadores a más de orientar el flujo. Se tienen dos desarenadores de 10m de largo por 10m de ancho y con una profundidad de 1.45m.



Ilustración 18 Desarenadores y Deflectores de Caudal

Lagunas Aereadas.

El agua procedente del tratamiento preliminar es conducida hacia estas lagunas, que constituyen las primeras unidades de tratamiento biológico y cuyas funciones básicas son:



- Asimilar la materia orgánica soluble en un periodo de retención relativamente corto, pero que no supere la capacidad de carga de la laguna.
- Mantener las condiciones aeróbicas, para la asimilación del material soluble en biomasa, permitiendo así de esta manera la separación de sólidos y la reducción de la carga orgánica hasta los niveles previstos.
- Reducir el conteo bacteriano en la medida de su capacidad (1).

Estas lagunas tienen un área de 6Ha (3Ha. c/u) y una profundidad de 4.5m, el volumen total de cada laguna es de 135000m^3 c/u. Cada laguna posee un total de 10 aereadores con un ángulo de inclinación de 45° . El agua ingresa a las lagunas a través de una tubería de 1m de diámetro, sale de la misma por un vertedero rectangular de 10m de longitud, que dispone además de una compuerta giratoria para la variación de niveles y de un cajón de carga para la conducción hacia la siguiente unidad de tratamiento.



Ilustración 19 Lagunas Aereadas.

Lagunas Facultativas.

El desecho que ya fue tratado biológicamente en las lagunas aereadas, pasa hacia estas lagunas, en donde el objetivo fundamental es (1):

- Almacenar y asimilar los sólidos biológicos producidos en el proceso anterior.
- Presentar las condiciones adecuadas de carga orgánica y balance de oxígeno, de modo que la biomasa de algas unicelulares pueda ser sustentada en la parte superior de la laguna.
- Tener las condiciones adecuadas de mortalidad bacteriana.
- Asegurar una adecuada remoción de nemátodos intestinales.

El área de estas lagunas es de 13Ha. c/u con una profundidad de 2m. El volumen de almacenamiento es de 260000m^3 c/u. Las lagunas poseen sensores de oxígeno, temperatura y profundidad. La entrada del agua procedente de las lagunas aereadas es mediante una tubería de 0.90m de diámetro y la salida es



Universidad de Cuenca
Facultad de Ingeniería
mediante una estructura de iguales características que las de la salida de las lagunas aereadas.



Ilustración 20 Lagunas Facultativas.

Lagunas de Maduración.

Este tipo de laguna tiene como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado. Estas lagunas no acumulan lodo generalmente.

Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempo de retención de 3 a 10 días cada una, mínimo 5 días cuando se usa una sola y profundidades de 1 a 1.5 metros. En la práctica el número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para proveer una remoción requerida de coliformes fecales (25).

Estas lagunas tienen un área de 7.4Ha la una y 5.6Ha la otra. Poseen un volumen de almacenamiento de 148000m^3 y de 112000m^3 respectivamente.



Ilustración 21 Lagunas de Maduración.



2.6 LODOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UCUBAMBA.

2.6.1 Introducción

Tradicionalmente la producción y la acumulación de lodo generado por lagunas de estabilización, ha ocupado un rol secundario, debido al prolongado tiempo de almacenamiento que éstas pueden ofrecer. La acumulación de los lodos en el fondo de las lagunas ocasiona que en éstas se produzca problemas, como son: la disminución en los tiempos retención y una demanda adicional de oxígeno, esto se produce debido a que la demanda bental y la demandan de gas generada por el proceso de digestión (1). Para solventar este tipo de problemas y complementar la segunda línea de tratamiento de agua residual, la planta cuenta con un sistema de extracción, deshidratación y de evacuación de lodos. En la actualidad se carece de estudios en el país sobre las características del biosólido presente en el fondo de las lagunas y los posibles usos potenciales que se los podría dar. Estos biosólidos dependen sin embargo de aspectos relacionados con el agua residual como son: el tipo de alcantarillado, la ubicación geográfica de la ciudad, condiciones meteorológicas y del tratamiento que se brinde a las aguas residuales.

2.6.2 Origen de los Lodos

El lodo acumulado en el fondo de las lagunas es el resultado de los sólidos en suspensión contenidos en el agua residual cruda, esto incluye además a arenas y más microorganismos (bacterias y algas) que se han sedimentado. La tasa de acumulación media de lodo en las lagunas aereadas y facultativas es de 0.03-0.08 m³/hab.año (1).

La altura y las características del lodo varían en las lagunas, dependen mucho de la geometría y de la ubicación de las estructuras de entrada y de salida.

A partir de las batimetrías realizadas en cada una de las lagunas, se cuenta con parámetros de acumulación de lodo, así se observó, que en las lagunas aereadas las zonas de mayor acumulación de lodos es en las áreas que no se encuentran bajo la influencia de los aereadores, es decir en las esquinas y en centro de las lagunas. En las lagunas facultativas la zona de preferencia para la acumulación es en los costados de las lagunas. Mientras que para las lagunas de maduración, no se ha podido observar una zona de acumulación preferencial.

2.6.3 Características de los Lodos de las Lagunas.

Una caracterización más detallada de estos lodos podemos encontrar en los estudios realizados por Durazno y Díaz (2009) en su estudio Modelo de Gestión para el manejo del sistema de extracción, deshidratación y disposición final de



lodos de lagunas de estabilización, así como en el estudio llevado a cabo por Durazno (2010) en su estudio de Generación, acumulación, distribución y características de lodos de Lagunas de Estabilización.

Sin embargo las características más importantes de estos lodos tanto en la entrada como en la salida de la planta de tratamiento de lodos, podemos encontrar en la Tabla del Anexo 2.

2.6.4 Sistema de remoción de Lodos de Lagunas y Deshidratación

La planta para la deshidratación de lodos se encuentra ubicada en el complejo de la PTAR Ucubamba y la línea de proceso adoptada para la evacuación de los lodos, se encuentra constituida por:

- **Extracción y bombeo inicial de lodos sedimentados mediante un sistema de dragas flotantes:** El funcionamiento se da gracias a una cabeza barrenadora y sistema de tornillo sin fin situado en la boca de aspiración de la bomba, lo que ayuda a remover y homogeneizar el lodo antes del bombeo. La concentración de líquido bombeado no deberá ser menor al 3% (30 kg MS/m^3) ni mayor al 7%. El lodo es extraído en dos fases: en la primera es impulsado hacia la cubierta de la draga mediante una tubería de 150mm de diámetro y en la otra fase los lodos recorren un tramo de manguera flotante de unos 180m de largo y de un diámetro de 150mm hasta llegar a la red colectora.



Ilustración 22 Mecanismo de barrido y extracción de lodo depositado.

- **Recolección y transporte de lodos mediante un sistema de tuberías situadas en la periferia de las lagunas:** Los lodos que se encuentran en el fondo de las lagunas son impulsados y dragados hacia una red de tuberías perimetrales a las lagunas aeradas y facultativas, las cuales conducen el lodo hasta las dos estaciones de bombeo. Esta red se encuentra constituida por tubería de 150mm de diámetro.

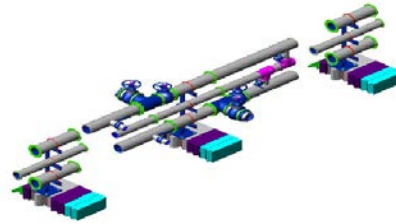


Ilustración 23. Red perimetral para conducción de lodos dragados.

- **Bombeo de lodos recolectados desde estaciones de bombeo auxiliar y principal:** La planta cuenta con dos estaciones de bombeo, una denominada bombeo auxiliar que recoge los lodos procedentes de las lagunas facultativas, que son impulsados hacia la segunda estación de bombeo, llamada estación de bombeo principal, la misma que además de recoger los lodos anteriores también recoge los lodos provenientes de las lagunas aeradas y parte de las facultativas, para luego impulsarlos a las unidades de espesamiento mediante una tubería de 150mm de diámetro.
- **Tamizado de lodos en canales de cribado:** La planta cuenta con canales de cribado de 0.5m de anchura, provistos de tamices filtrantes, que permiten la eliminación de sólidos gruesos que pueden estar presentes en los lodos impulsados.
- **Espesamiento de lodos en dos espesadores de gravedad:** Este proceso tiene como finalidad concentrar los lodos y reducir su volumen a tratar en las siguientes etapas. Este proceso se llevará a cabo mediante dos espesadores idénticos a gravedad.



Ilustración 24. Espesador y tanque de lodos espesados.

- **Bombeo de lodos espesados:** Los lodos procedentes de los espesadores son extraídos continuamente mediante dos tuberías de 200mm de diámetro, y pasan al ser almacenados en el tanque de lodos espesados, este tanque tiene una capacidad de 172m^3 . Luego este lodo será aspirado mediante un equipo de tres bombas helicoidales y será llevado hasta los



reactores de mezcla y floculación de los filtros banda para su acondicionamiento.

- **Acondicionamiento del lodo mediante dosificación de polielectrolito:** Este proceso se logra gracias a la adición de una solución de polielectrolito, el mismo que ayuda a la floculación de los sólidos y al proceso de deshidratación por medio de filtros banda.
- **Deshidratación en filtros de banda:** Para la deshidratación de los lodos la planta cuenta con un sistema de 3 filtros banda. Estos filtros tienen un ancho de banda de 3m, como se muestra en la ilustración 25, de características suficientes y capacidad suficiente para tratar lodos procedentes de los espesadores. Se dispone también de un sistema de lavado continuo para las telas filtrantes de cada filtro, esto se efectuará mediante agua a presión. La producción diaria de lodo deshidratado es de 50m^3 , con un contenido de sólidos de 25%.



Ilustración 25. Filtros Banda planta lodos Ucubamba.

- **Almacenamiento de lodos deshidratados en el silo:** Los filtros banda descargan la torta de lodo deshidratado sobre una cinta transportadora horizontal; esta cinta transporta el lodo hasta la tolva de alimentación de una bomba de impulsión helicoidal. Finalmente este lodo será impulsado hasta un silo de almacenamiento de 60m^3 de capacidad, como paso previo a su vaciado diario en camiones para su disposición final.

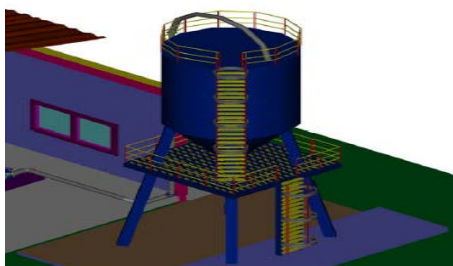


Ilustración 26. Silo de almacenamiento de lodo deshidratado.



2.7 LODOS COMO MATERIA PRIMA DE CONSTRUCCIÓN

2.7.1 Introducción

Desde sus inicios el hombre ha adaptado su entorno según sus necesidades. Esto lo ha llevado a una constante búsqueda por encontrar materiales de construcción más sofisticados que cumplan con características de: dureza, resistencia mecánica, resistencia al fuego y/o facilidad de limpieza.

Debido al constante crecimiento poblacional, económico y a la expansión de las ciudades, cada vez se tiene una mayor producción de residuos, por lo que su abandono o su mala gestión produce graves impactos en el medio como son la contaminación del agua, contaminación del suelo, del aire, contribuyendo en gran medida al cambio climático y modificación de los ecosistemas y de repercusión en la salud humana (26).

Una gestión adecuada de los residuos conlleva a un entorno sostenible basado en la reducción de la explotación de canteras y una mejora en la huella medioambiental, mediante el uso de materias primas alternativas naturales y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Esto es posible con la incorporación de los residuos a los materiales de construcción convencionales, formando una matriz cerámica o cementante (dependiendo de su aplicación), de manera que se logre una inertización mediante una “encapsulación” de los mismos con el fin de obtener materiales aptos para la construcción y de mejores características físicas y mecánicas.

El campo de la construcción se ha caracterizado por su constante demanda de recursos y materiales, por tanto “uno de los retos es reutilizar residuos convirtiéndolos en materias primas para aplicaciones concretas, es decir convertir materiales sin valor, en otros de más valor” (21).

En busca de una alternativa de disposición final de lodos producidos tanto en los tratamientos de Agua Potable y Residual, se han revisado investigaciones anteriores; las más representativas, las efectuadas por Dillon, *et al.* (1996) que propone la incorporación de lodos para la elaboración de cementos, ladrillos, hierro y acero, cerámica y materiales refractarios; constituidos por sales férricas y de aluminio adquiridos en el proceso de coagulación, en PTAP de Reino Unido (27). Goncalves, *et al.* (2004) plantea la elaboración de morteros mediante el uso de lodos deshidratados provenientes de PTAP de Portugal que secados térmicamente a no menos de 450 °C son la mejor opción para la fabricación de morteros (22). Por último se puede referir a Colombia, en donde un grupo de investigadores han evaluado las características del lodo proveniente de una PTAR al elaborar productos cementantes y bloques para la construcción, encontrando en



éstos una alta resistencia e impermeabilidad, dejando “encapsulados” a los metales pesados y sustancias lixiviables, para evitar el contacto con el agua (28).

De la caracterización química realizada a lodos de las lagunas de estabilización, se observa que los elementos predominantes en su composición son el aluminio y el hierro. (ver Anexo 2), aspecto importante para su uso posterior, si se conoce que los compuestos del cemento que participan en el endurecimiento de la matriz coloidal son:

Silicato tricálcico: $2(3\text{CaO}.\text{SiO}_2)$

Silicato dicálcico: $2(2\text{CaO}.\text{SiO}_2)$

Aluminato tricálcico: $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$

Ferroaluminato tetracálcico: $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$

Compuestos que en su proceso de hidratación, paulatinamente van generando las estructuras que confieren resistencia a los materiales.

2.7.2 Objetivo

Estudiar un probable aprovechamiento de los lodos tanto de la planta depuradora como potabilizadora, es decir proponer una disposición diferente a la que actualmente se los está dando. Diariamente en la PTAR “Ucubamba” se evacúan al Relleno Sanitario de Pichacay aproximadamente 50m^3 de lodos deshidratados, mientras tanto en la PTAP “Sústag” existe una evacuación alrededor de 15m^3 al mes de este lodo.

2.7.3 Emisiones ambientales y control.

2.7.3.1 Introducción

La contaminación del aire ocurre cuando se tienen sustancias indeseables presentes y que tiene gran influencia en la afección de la salud humana, de animales y plantas o vida microbiana; esto se ve reflejado en el daño de las propiedades de algunos materiales e interferencia en el disfrute de la vida (29).

A nivel mundial se hace énfasis en el control de las concentraciones atmosféricas ambientales de contaminantes para que no superen los niveles en los cuales se podría observar efectos en la salud humana. El control del aire y su contaminación no es un proceso fácil, ya que no es muy práctico eliminar toda traza de un contaminante específico. Por lo que es razonable tener un control de emisiones hasta el nivel más bajo posible, que se encuentre acorde a la tecnología disponible, pero sobre todo que se encuentre dentro de los límites de la normativa permisible; todo esto a un costo razonable.



2.7.3.2 CONTROL DE CONTAMINANTES GLOBALES Y PRINCIPALES CONTAMINANTES DE LA ATMOSFERA

Los contaminantes antropogénicos que tienen impactos locales y regionales son los contaminantes que se encuentran incluidos en la lluvia ácida, dióxido de carbono, clorofluorocarbonos, contaminantes radioactivos derivados de plantas nucleares y de fuentes naturales e industriales, emisiones, metales pesados, emisiones de contaminantes naturales, entre otros (29).

En este trabajo de investigación, el enfoque principal es hacia las fuentes de contaminación industrial, debido a los gases emitidos en el proceso de obtención de cenizas provenientes de la incineración de los lodos deshidratados de PTAP y PTAR, para la fabricación de materiales de construcción.

Se conoce que las fuentes industriales son las más notorias, debido a que las emisiones son descargadas exclusivamente en un ducto o en una chimenea. Cualquier operación de combustión a alta temperatura produce principalmente óxidos de nitrógeno (NO_x), así como el óxido de azufre (SO_x) que se produce en la combustión de petróleo y carbón en fuentes estacionarias, como se dijo anteriormente éstos gases al hidrolizarse dan lugar a la formación de H_2SO_4 y al HNO_3 y con ello a la formación de la lluvia ácida. El monóxido de carbono (CO) se desprende de en grandes cantidades de compuestos orgánicos volátiles de una gran variedad de procesos industriales, estos compuestos pueden hallarse en forma de vapor, líquido o partículas si es el caso de operaciones de pavimentación con asfalto (29).

Teniendo como antecedente la peligrosidad y los efectos que estos gases provocan en el medio ambiente como en la salud humana; en este estudio se vio la necesidad de un control y de un monitoreo de los mismos con el fin de garantizar un ambiente laboral adecuado y que cumpla con la normativa vigente en el país, para este tipo de actividades.

2.7.3.3 LEGISLACIÓN AMBIENTAL VIGENTE.

La Normativa Ecuatoriana en su Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, Anexo 4 de Normas de Calidad del Aire Ambiente, especifica lo siguiente para los gases contaminantes Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO_2) y Óxidos de Nitrógeno (expresados como NO_2):

“Numeral 4.1.2 Normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente



Dióxido de azufre(SO_2).- El promedio aritmético de la concentración de SO_2 determinada en todas las muestras en un año no deberá exceder de ochenta microgramos por metro cúbico ($80 \mu g/m^3$). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder trescientos cincuenta microgramos por metro cúbico ($350 \mu g/m^3$), más de una vez en un año.

Monóxido de carbono(CO).- La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 (ocho) horas, no deberá exceder diez mil microgramos por metro cúbico ($10\,000 \mu g/m^3$) más de una vez en un año. La concentración máxima en una hora de monóxido de carbono no deberá exceder cuarenta mil microgramos por metro cúbico ($40\,000 \mu g/m^3$) más de una vez en un año.

Óxidos de nitrógeno, expresados como (NO_2).- El promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno, expresada como NO_2 , y determinada en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ($100 \mu g/m^3$). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico ($150 \mu g/m^3$) más de dos (2) veces en un año” (30).



3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LODOS COMO MATERIA PRIMA DE CONSTRUCCIÓN

Se ha planteado emplear los lodos procedentes de las dos plantas de tratamiento en tres diferentes condiciones, explicados a continuación.

- **Lodos Deshidratados:** En esta fase se tomará los lodos deshidratados procedentes de la PTAR “Ucubamba” y se los empleará en la elaboración de ladrillos en los porcentajes del 5 y 10% del volumen de un ladrillo tradicional.
- **Lodos Desecados:** Los Lodos Deshidratados provenientes de la planta depuradora y potabilizadora serán llevados a la estufa al secado a 105°C aproximadamente durante un período de 24h, y posteriormente se realizará su granulometría para ser empleados como sustituto en porcentajes del 5, 10 y 15% del árido fino (arena) en la elaboración de hormigones.
- **Cenizas de Lodos:** En esta ocasión los lodos provenientes de estas plantas de tratamiento serán sometidas a un proceso de calcinación (800°C), que es la temperatura máxima en los hornos disponibles en el laboratorio, en donde al producto restante lo llamaremos “cenizas”, que serán aprovechadas como sustituto de la cal en la fabricación de morteros cemento- cal-arena comúnmente denominado mortero bastardo.



Ilustración 27 Lodo Deshidratado, Lodo Desecado, "Ceniza de Lodo"

Es importante señalar que se llevó a cabo el control de emisiones ambientales (CO , SO_2 , NO_2) con dos equipos de medición de gases en aire ambiente Marca BW Technologies (Honeywell) GasAlertMicro 5 que tiene instalado sensores electroquímicos para la detección de gases: O_2 , NO_2 , SO_2 ; y el equipo GasAlertMicro 5 PID para detección de gases: CO , O_2 y LEL.

Se realizaron muestreos de estos gases durante una hora y veinte minutos, con un Data Rate (toma muestra) de 30 segundos, a escala de laboratorio.



Ilustración 28 Instrumentos de Medición de Gases

3.2 CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES

3.2.1 Origen de los Materiales

Sin lugar a duda la previa selección de los materiales para la elaboración de esta investigación es el primer paso para la fabricación de un hormigón y/o mortero, de este modo se evitará que durante el proceso de construcción se susciten pérdidas por re-procesos y re-diseños.

Para la fabricación de los diferentes concretos se ha empleado los siguientes materiales: cemento, agua, grava, arena, y lodos provenientes de las plantas de tratamiento de agua potable y residual en estado: seco y ceniza.

La grava (agregado grueso) de origen andesítica es procedente de la cantera Rocazul ubicada en el sector La Josefina, provincia del Azuay, triturado a un tamaño máximo nominal de 3/8". En cuanto al agregado fino (arena) fue extraído del río Santa Isabel a través Cantera Rocazul.

3.2.2 Ensayos

3.2.2.1 Granulometría de los Áridos

Base teórica

En la elaboración del hormigón, el material granular constituye el mayor volumen de la mezcla, por lo que sus propiedades físicas y mecánicas son de gran importancia; para lograr esto se debe contar con una material cuyas partículas estén sanas, limpias, resistentes, exento de adherencias como limo, arcilla, grasas, aceites, y libre de defectos ocultos (31).

La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a su efecto de dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto.



El análisis granulométrico de los áridos es un método mecánico que permite determinar la graduación de los materiales mediante tamices normalizados y numerados colocados de mayor a menor según su abertura; para el agregado grueso la serie de tamices son dispuestos de la siguiente manera: 3", 2", 1½", 1", ¾", ½", ⅜", N° 4. En lo referente al agregado fino los tamices empleados son: N°4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200.

Objetivo General

- Establecer los requisitos de gradación y calidad para los agregados fino y grueso requeridos en la elaboración de un concreto.

Objetivos Específicos

- Precisar el porcentaje de agregado que pasa por los distintos tamices para la obtención de la curva granulométrica.
- Determinar si la granulometría de los agregados se encuentra dentro de los parámetros establecidos para realizar un adecuado diseño.

Material y Equipo

- Agregado fino (arena)
- Agregado grueso (grava)
- Agregado sustituyente (lodos provenientes de PTAP y PTAR)
- Balanza (con capacidad de 3000gr y precisión de 0.1gr)
- Juego de tamices para áridos finos y gruesos
- Cocineta
- Bandejas
- Vibrador
- Espátula

Procedimiento

1. Homogeneizar la mezcla de árido fino y grueso; reducir por cuarteo a una muestra, cuyo peso oscile en un rango de 600 a 1000gr.
2. Proceder a pesar el material separado.
3. Disponerlo en una bandeja y secarlo en la cocineta, removiendo constantemente con una espátula.
4. Se procede a pesar el material seco.
5. En el caso del agregado fino (arena) este se procede a lavar con agua e inmediatamente colarlo a través del tamiz N° 200. Este procedimiento se



repite tantas veces, hasta que el agua de lavado no contenga finos. Proceder a secar nuevamente el material restante y pesarlo.

6. Preparar los tamices; en el caso del árido grueso usar los siguientes tamices: 3", 2", 1½", 1", ¾", ½", ⅜", N° 4; para el agregado fino se los disponen de esta manera: N°4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200; en ambos casos, se colocan en el vibrador en el orden antes expuesto durante un intervalo de 3 a 4 minutos.
7. Peser el material retenido en cada tamiz con la ayuda de la balanza, obteniéndose la curva granulométrica mostrada en las Ilustraciones 31 y 32, para árido fino y grueso respectivamente.



Ilustración 29 Tamizado del árido fino y árido grueso.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ARIDO FINO							
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".							
Material:	Arena	Masa muestra de ensayo:		1000	Gramos	Requisitos % Pasa	
Tamiz #	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	P. retenido Acumulado (gr)	% Retenido	% Pasa	Límite superior	Límite inferior
4	4.75	3	3	0.30	99.70	95	100
8	2.36	130	133	13.30	86.70	80	100
16	1.18	279	412	41.20	58.80	50	85
30	0.600	260	672	67.20	32.80	25	60
50	0.300	195	867	86.70	13.30	10	30
100	0.150	95	962	96.20	3.80	2	10
200	0.075	26	988	98.80	1.20		
Fondo		12	1000	100.00	0.00		
Total		1000					
Módulo de Finura (M.F.)=			3.05				

Tabla 8 Granulometría del árido fino

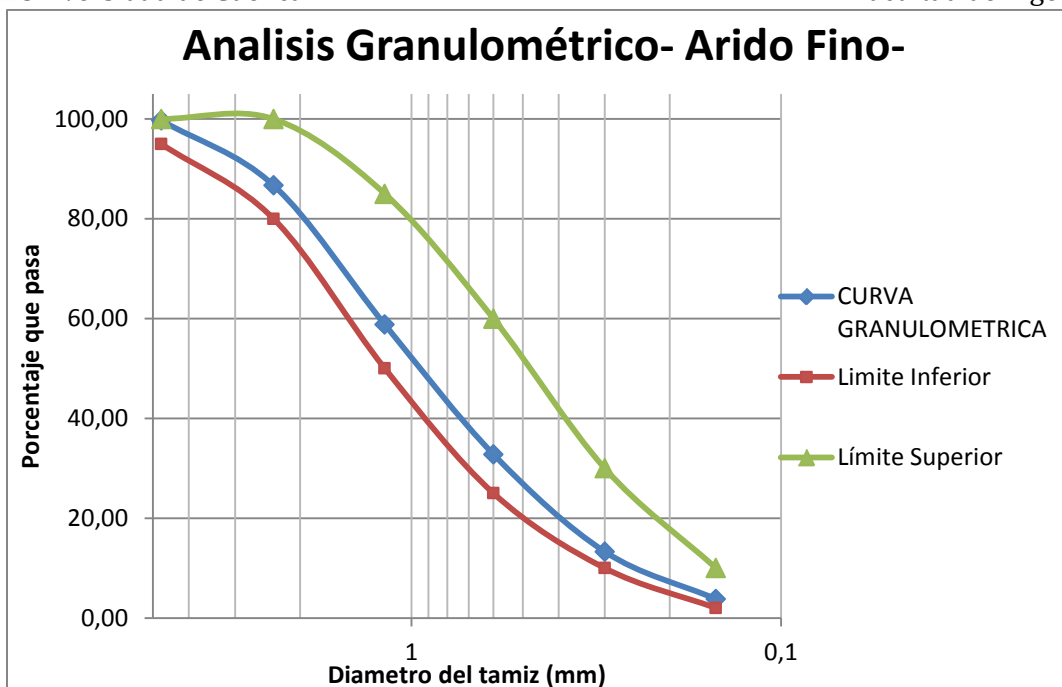


Ilustración 30 Gráfica Granulométrica del agregado fino

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ARIDO GRUESO							
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".							
Material:	Grava	Masa muestra de ensayo:		4500 gramos		Requisitos %Pasa	
Tamiz #	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	P. retenido Acumulado (gr)	% Retenido	% Pasa	Límite inferior	Límite superior
2"	50	0	0	0.00	100.00	100	100
1 1/2	38	0	0	0.00	100.00	100	100
1	25	108	108	2.40	97.60	90	100
3/4	19	1356	1464	32.53	67.47	50	80
1/2	12.5	1222	2686	59.69	40.31	25	60
3/8	9.5	664	3350	74.44	25.56	10	40
4	4.75	860	4210	93.56	6.44	0	20
Fondo		290	4500	100.00	0.00		
Total		4500					

Tabla 9 Granulometría del árido grueso

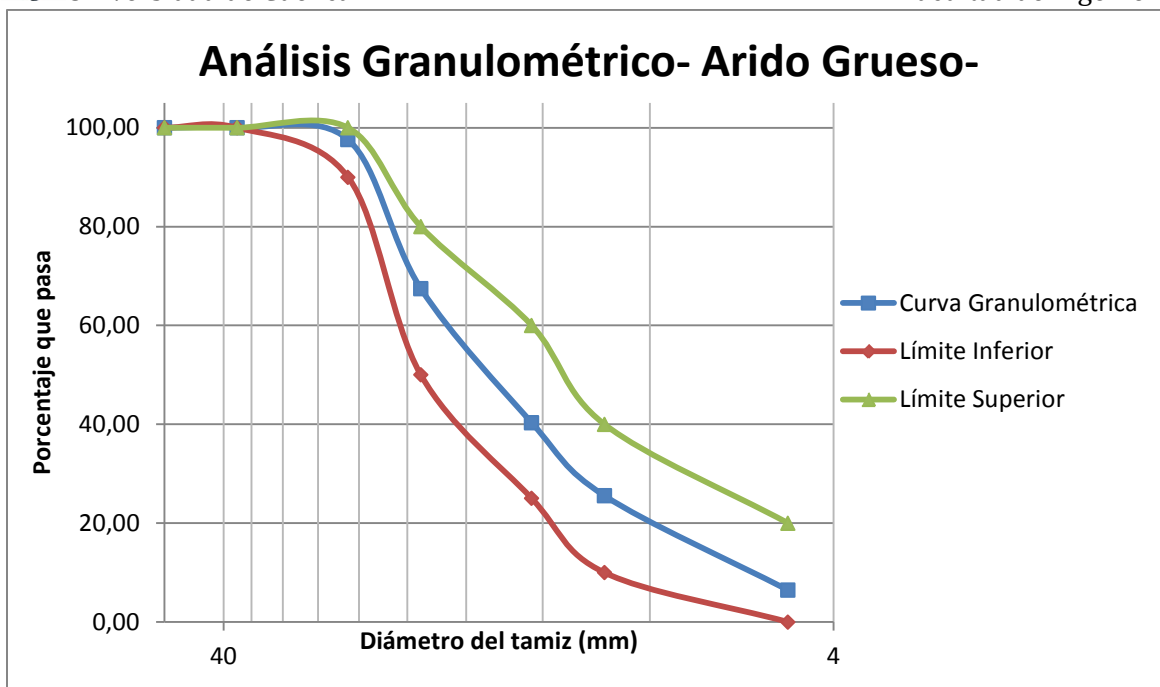


Ilustración 31 Gráfica Granulométrica del agregado grueso

La ilustración 32 muestra las gráficas granulométricas de los agregados fino y grueso.

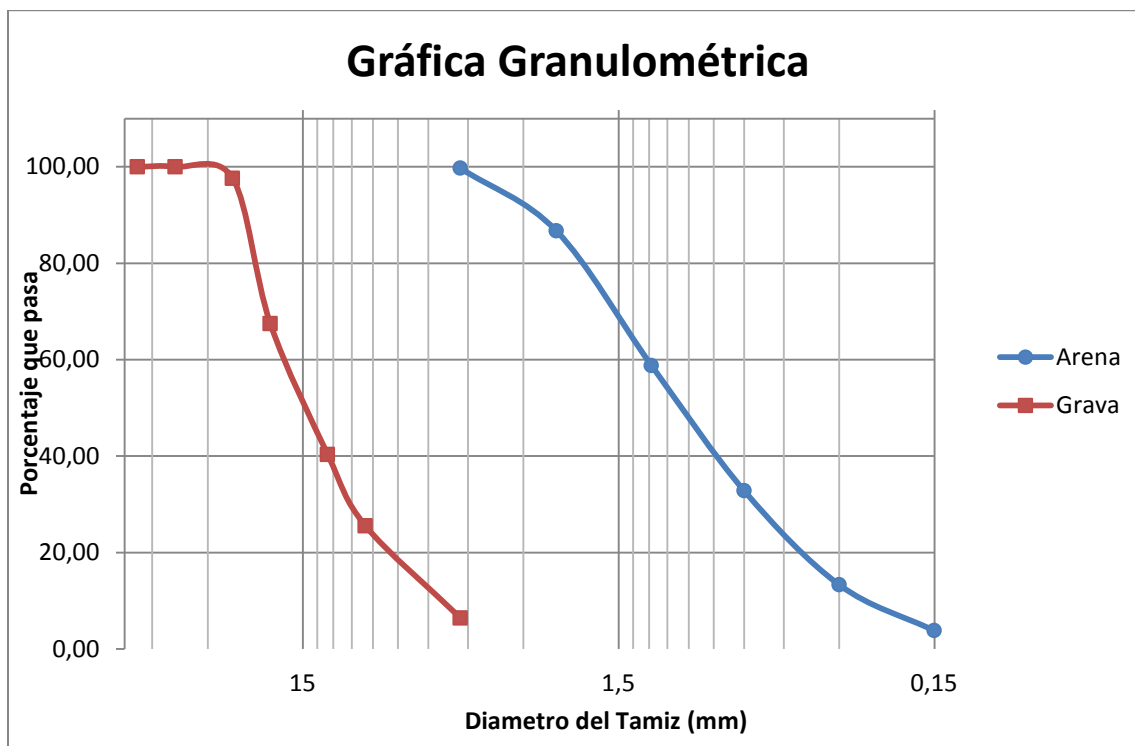


Ilustración 32 Gráfica de Combinación de agregados



Previamente, para el análisis granulométrico de los lodos deshidratados provenientes tanto de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Sústag como de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba, se secan aproximadamente a unos 105°C por un lapso de 24h. A continuación se presenta el análisis granulométrico en las Tablas 10 y 11 correspondiente a cada lodo, con la respectiva curva granulométrica mostradas en las Ilustraciones 34 y 35:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO LODOS DESHIDRATADOS DE LA PTAP SUSTAG					
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".					
Material:	Arena	Masa muestra de ensayo:		275	gramos
Tamiz #	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	P. retenido Acumulado (gr)	% Retenido	% Pasa
4	4.75	73	73	26.55	73.45
8	2.36	94	167	60.73	39.27
16	1.18	64	231	84.00	16.00
30	0.600	28	259	94.18	5.82
50	0.300	9	268	97.45	2.55
100	0.150	3	271	98.55	1.45
200	0.075	2	273	99.27	0.73
fondo		2	275	100.00	0.00
Total		275			

Tabla 10 Granulometría del Lodo (PTAP SUSTAG)

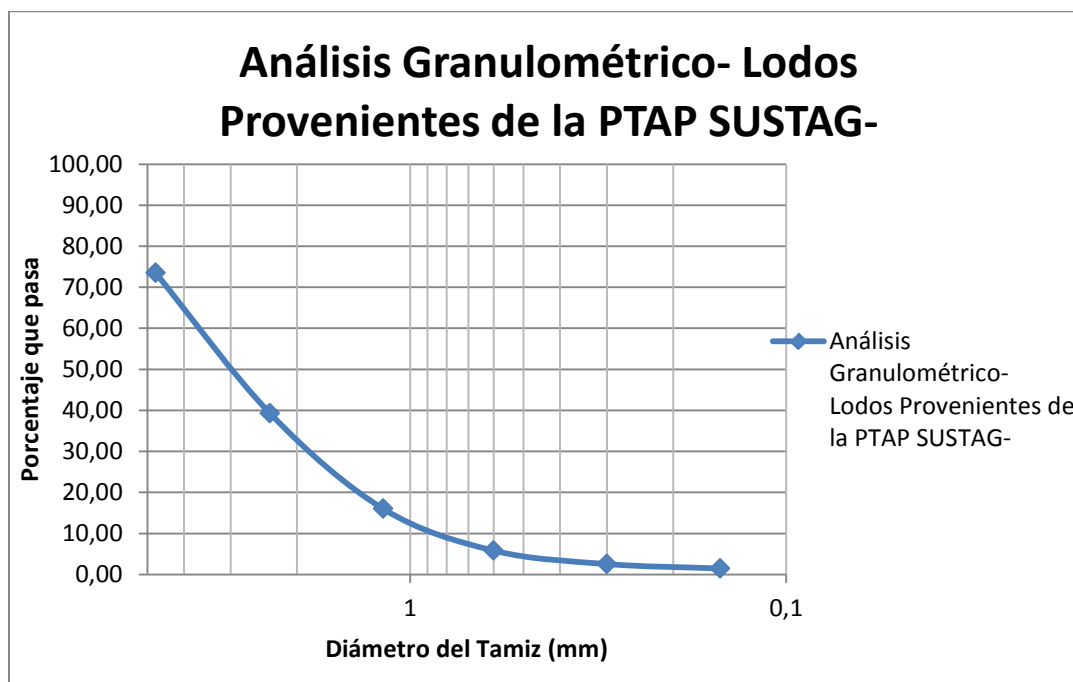


Ilustración 33 Gráfica Granulométrica del Lodo (PTAP SUSTAG)



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO LODOS DESHIDRATADOS DE LA PTAR UCUBAMBA					
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".					
Material:	Arena	Masa muestra de ensayo:		500	gramos
Tamiz #	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	P. retenido Acumulado (gr)	% Retenido	% Pasa
4	4.75	233	233	46.60	53.40
8	2.36	155	388	77.60	22.40
16	1.18	73	461	92.20	7.80
30	0.600	20	481	96.20	3.80
50	0.300	6	487	97.40	2.60
100	0.150	3	490	98.00	2.00
200	0.075	2	492	98.40	1.60
fondo		8	500	100.00	0.00
Total		500			

Tabla 11 Granulometría del Lodo (PTAR UCUBAMBA)

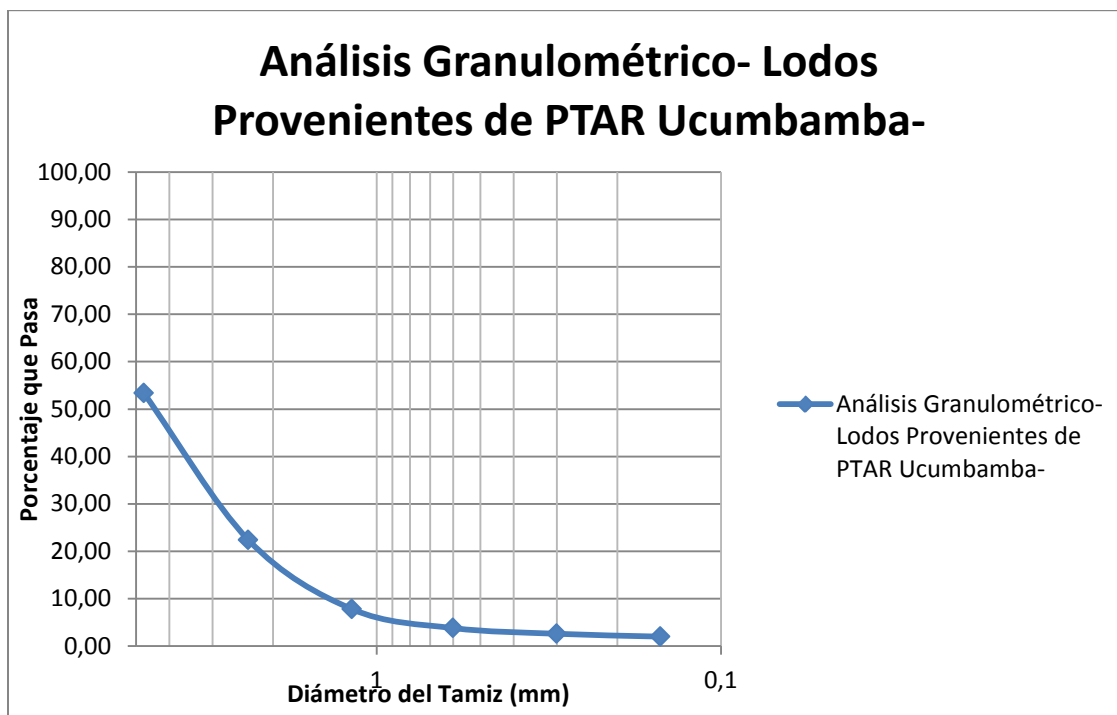


Ilustración 34 Gráfica Granulométrica del Lodo (PTAR UCUBAMBA)



3.2.2.2 PESO UNITARIO COMPACTADO DE LOS AGREGADOS (FINO Y GRUESO)

Base Teórica

El peso unitario también conocido como densidad en masa o peso volumétrico de un agregado, es el peso del material que se requiere para llenar un recipiente de volumen conocido, que hace referencia al ocupado tanto por el agregado como sus correspondientes espacios inter granulares.

En esta relación se pueden conseguir dos valores dependiendo de la técnica de acomodamiento que se la haya dado al agregado: Peso Unitario Suelto es aquel como viene de una pala o cucharón después de que ha sido secado; y Peso Unitario Seco Compactado mediante el apisonamiento externo o vibración, aplicados a materiales que están sujetos a asentamientos provocados por el tránsito o por la acción del tiempo.

Para la obtención de este parámetro característico de cada agregado, se emplea la siguiente expresión:

$$\rho_s = \frac{P_m}{V}$$

De donde:

P_m : Peso promedio del agregado (suelto o compactado)

V : Volumen del Recipiente

Objetivo

Establecer la masa por unidad de volumen de una muestra de agregado en estado seco y compactado

Equipo y Materiales

- Agregado grueso (grava)
- Agregado fino (arena)
- Pala o cucharón
- Recipiente de volumen conocido.
- Balanza

**Procedimiento****a. Determinación del Peso Volumétrico Seco Suelto**

1. Calcular el volumen del recipiente por medio de su capacidad, su peso, o dimensiones geométricas.
2. Se coloca en moldes cilíndricos de volúmenes conocidos tanto la grava (previamente retenida por el tamiz N° 4) y la arena en estado seco y en forma suelta respectivamente.
3. Se enrasa al margen del molde, con un rasero. Se repite repitiendo el proceso por tres ocasiones.
4. Calcular el peso volumétrico entre la relación del peso medio y su volumen.

b. Determinación del Peso Volumétrico Seco Compactado

1. Calcular el volumen del recipiente (realizado en la parte anterior).
2. Se coloca en cada molde cilíndrico la grava y arena seca en tres capas, a cada una damos 25 golpes con una varilla.
3. Enrazamos al margen del molde, aproximando que la cantidad de grava y arena que queda por encima del molde se compensa con espacios dentro de él. De la misma manera repetir el proceso tres veces
4. Proceder al cálculo del peso volumétrico entre la relación del peso medio y su volumen.

Agregado Grueso (Grava):

PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO GRAVA				
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".				
Volumen del Recipiente	0.00292	m³		
Peso del Recipiente	2848	gr.		
	Valor	Unidad	Masa arena	Error < 1.5%
Peso 1 + Recipiente	7515	gr.	4667	0.014
Peso 2 + Recipiente	7519	gr.	4671	-0.071
Peso 3 + Recipiente	7513	gr.	4665	0.057
Peso Promedio	7515.67	gr.	4667.67	

Tabla 12 Peso Volumétrico Seco Suelto de la Grava

$$\rho_{sgrava} = \frac{4.667 \text{ Kg}}{0.00292 \text{ m}^3}$$

$$\rho_{sgrava} = 1598.63 \text{ Kg/m}^3$$



PESO VOLUMETRICO SECO COMPACTADO GRAVA				
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".				
Volumen del Recipiente	0.00292	m ³		
Peso del Recipiente	2848	gr.		
	Valor	Unidad	Masa arena	Error < 1.5%
Peso 1 + Recipiente	7808	gr.	4960	-6.263
Peso 2 + Recipiente	7810	gr.	4962	-6.306
Peso 3 + Recipiente	7809	gr.	4961	-6.284
Peso Promedio	7809.00	gr.	4961.00	

Tabla 13 Peso Volumétrico Seco Compactado de la Grava

$$\rho_{cgrava} = \frac{4.961 \text{ Kg}}{0.00292 \text{ m}^3}$$

$$\rho_{cgrava} = 1698.97 \text{ Kg/m}^3$$

Agregado Fino (Arena):

PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO ARENA				
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".				
Volumen del Recipiente	0.00292	m ³		
Peso del Recipiente	2848	gr.		
	Valor	Unidad	Masa arena	Error < 1.5%
Peso 1 + Recipiente	7389	gr.	4541	2.714
Peso 2 + Recipiente	7385	gr.	4537	2.799
Peso 3 + Recipiente	7387	gr.	4539	2.757
Peso Promedio	7387.00	gr.	4539.00	

Tabla 14: Volumétrico Seco Suelto de la Arena

$$\rho_{sarena} = \frac{4.539 \text{ Kg}}{0.00292 \text{ m}^3}$$

$$\rho_{sarena} = 1554.45 \text{ Kg/m}^3$$



PESO VOLUMETRICO SECO COMPACTADO ARENA				
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".				
Volumen del Recipiente	0.00292	m ³		
Peso del Recipiente	2848	gr.		
	Valor	Unidad	Masa arena	Error < 1.5%
Peso 1 + Recipiente	7784	gr.	4936	-5.749
Peso 2 + Recipiente	7785	gr.	4937	-5.770
Peso 3 + Recipiente	7780	gr.	4932	-5.663
Peso Promedio	7783.00	gr.	4935.00	

Tabla 15: Volumétrico Seco Compactado de la Arena

$$\rho_{c \text{ arena}} = \frac{4.935 \text{ Kg}}{0.00292 \text{ m}^3}$$

$$\rho_{c \text{ arena}} = 1690.06 \text{ Kg/m}^3$$

3.2.2.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS (FINO Y GRUESO)

Base Teórica

El peso específico de un material se define como su peso por unidad de volumen, en el diseño de mezcla este es utilizado para determinar el volumen ocupado por el agregado en el hormigón, por otro lado el porcentaje de absorción permite deducir la cantidad de agua que se debe adicionar en la mezcla de hormigón.

Definiciones:

- **Peso Específico Aparente:** Es la relación entre la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (abarcando tanto poros saturables como no saturables) y la masa en el aire de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.
- **Peso Específico de Masa:** Se determina como el cociente entre la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (incluyendo poros no saturables) y la masa en el aire de un volumen igual de agua destilada libre de gas a temperatura definida.
- **Peso Específico de Masa Saturada Superficialmente Seca:** Es la relación entre la masa de aire de un volumen dado de agregado incluyendo



la masa de agua dentro de los poros saturables, esto es luego de la sumersión en agua durante 24 horas, y la masa en el aire de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.

Objetivo

Determinar el peso específico y absorción de los agregados fino y grueso mediante el humedecimiento en tiempo señalado.

Equipo y Materiales

- Arena
- Grava
- Picnómetro
- Balanza
- Cocineta
- Cuchareta
- Cono con accesorios
- Espátula
- Probeta de 1000cm³

Procedimiento

1. Obtener la arena en condiciones SSS (Saturada Superficialmente Seca).
2. Sumergir la arena en agua (un mínimo de 24 horas).
3. Tomar el material de la parte interna y colocarlo en el cono que descansa sobre una superficie horizontal, llenar con arena en forma suelta, y con la ayuda del pisón dar 25 golpes que caigan por su propio peso.
4. Con un rasero colocar la arena al margen del cono, es decir se enrasa el material.
5. Se levanta el molde, y puede ocurrir tres situaciones: se queda de la misma forma la arena, entonces se puede decir que es muy húmeda; se cae el montículo, indica que la arena es muy seca, y si se queda de modo que no tenga la misma forma pero tampoco se caiga, entonces el material (arena) está en condiciones SSS.
6. Una vez que la arena está en condiciones SSS, tomamos su peso (A)
7. Posteriormente se pesa el picnómetro lleno de agua; para evitar que se derrame es necesario colocar una placa de vidrio encima del mismo.
 - Peso del picnómetro con agua=C
 - Peso del picnómetro con agua y con arena=B



8. La cantidad de material debe ser dividida un parte para el picnómetro y otra parte para el horno.
9. Colocar el material en el horno y dejar secar por 24 horas, para posteriormente pesar el material seco=D.

Obtención de datos:

Agregado Fino (Arena):

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE LA ARENA		
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".		
	PESO (gr)	SIMBOLO
PESO RECIPIENTE	590.5gr	
PESO RECIP+MATERIAL SSS	2992.5gr	
PESO MATERIAL SSS	2402	A
PESO DEL PICNOMETRO	464.5gr	
PESO PICN. + AGUA	3601.5	C
PESO PICN.+AGUA+ARENA	5010	B
PARA EL MATERIAL SECO		
PESO RECIPIENTE	580gr	
PESO RECIP.+MATERIAL	2910gr	
PESO MATERIAL SECO	2330	D

Tabla 16: Peso Específico y % Absorción de la Arena

Con estos datos se obtiene los siguientes resultados

$$\text{Peso específico Seco} = \frac{D}{A + C - B} = 2.35 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$\text{Peso específico SSS} = \frac{A}{A + C - B} = 2.42 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{D}{D + C - B} = 2.53 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{A - D}{D} * 100 = 3.09\%$$



PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE LA GRAVA		
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".		
	PESO (gr)	SIMBOLO
PESO RECIPIENTE	590.5gr	
PESO RECIP.+MATERIAL SSS	1287	
PESO MATERIAL SSS	696.5	A
PESO DEL PICNOMETRO	464.5gr	
PESO PICN. + AGUA	4527	C
PESO PICN.+AGUA+ARENA	4946	B
PARA EL MATERIAL SECO		
PESO RECIPIENTE	580gr	
PESO RECIP.+MATERIAL	1260.7	
PESO MATERIAL SECO	680.7	D

Tabla 17: Peso Específico y % Absorción de la Grava

$$\text{Peso específico Seco} = \frac{D}{A + C - B} = 2.45 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$\text{Peso específico SSS} = \frac{A}{A + C - B} = 2.51 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{D}{D + C - B} = 2.60 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{A - D}{D} * 100 = 2.32\%$$

3.2.2.4 CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS (FINO Y GRUESO)

Base Teórica

El contenido de humedad es una variable que depende del tipo de material, de la porosidad y de las condiciones atmosféricas. La porosidad depende a su vez del tamaño de los poros, su permeabilidad (indica la facilidad del agregado para permitir el paso de agua; depende de su textura, granulometría y grado de compactación, cuanto más gruesas sean las partículas mayor será su permeabilidad) y de la cantidad y volumen total de poros.



La determinación del contenido de humedad se fundamenta en la siguiente expresión:

$$w (\%) = \frac{w_1 - w_2}{w_2} * 100$$

De donde:

w_1 Masa de la muestra antes del secado.

w_2 Masa de la muestra después del secado.

Objetivo

Determinar el porcentaje de humedad total en una muestra de agregado fino y grueso por medio del secado

Equipo y Materiales

- Arena
- Grava
- Balanza
- Horno
- Recipientes

Procedimiento

1. Cuarteo de la muestra, y tomar la cantidad de material
2. Pesar los recipientes.
3. Se procede a pesar el agregado (arena y grava) húmedo más el recipiente, evitando la pérdida de humedad.
4. Posteriormente se seca la muestra en un horno a una temperatura de 110°C por 24 horas.
5. Por último pesar el material seco.

CONTENIDO DE HUMEDAD ARENA					
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".					
	Peso del Recipiente gr.	Peso del Recipiente + Muestra (antes del secado) gr.	-Peso del Recipiente + Muestra (después del secado)gr.	Muestra húmeda gr.	Muestra seca gr.
Muestra 1	38.11	94.01	92.25	55.9	54.14
Muestra 2	44.94	75.12	74.38	30.18	29.44
Muestra 3	50.24	110.52	107.68	60.28	57.44

Tabla 18: Contenido de Humedad en el árido fino (arena)



$$\text{Muestra 1: } w (\%) = \frac{55.9-54.14}{54.14} * 100$$

$$\text{Muestra 1: } w (\%) = 3.25$$

$$\text{Muestra 2: } w (\%) = \frac{30.18-29.44}{29.44} * 100$$

$$\text{Muestra 2: } w (\%) = 2.51$$

$$\text{Muestra 3: } w (\%) = \frac{60.28-57.44}{57.44} * 100$$

$$\text{Muestra 3: } w (\%) = 4.94$$

$$\therefore \text{ Contenido de humedad de arena: } w (\%) = 3.57$$

CONTENIDO DE HUMEDAD GRAVA					
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".					
	Peso del Recipiente gr.	Peso del Recipiente + Muestra (antes del secado) gr.	Peso del Recipiente + Muestra (después del secado)gr.	Muestra húmeda gr.	Muestra seca gr.
Muestra 1	39.21	113.02	111.38	73.81	72.17
Muestra 2	42.32	89.3	88.75	46.98	46.43
Muestra 3	45.49	111.42	110.63	65.93	65.14

Tabla 19: Contenido de Humedad en el árido grueso (grava)

$$\text{Muestra 1: } w (\%) = \frac{73.81-72.17}{72.17} * 100$$

$$\text{Muestra 1: } w (\%) = 2.27$$

$$\text{Muestra 2: } w (\%) = \frac{46.98-46.43}{46.43} * 100$$

$$\text{Muestra 2: } w (\%) = 1.19$$

$$\text{Muestra 3: } w (\%) = \frac{65.93-65.14}{65.14} * 100$$

$$\text{Muestra 3: } w (\%) = 1.21$$

$$\therefore \text{ Contenido de humedad de grava: } w (\%) = 1.56$$

3.2.2.5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO

Base Teórica

El peso específico del cemento se obtiene de la relación entre el peso de un volumen dado de cemento a una determinada temperatura y el peso de un volumen igual de agua a esa misma temperatura. En este caso, la temperatura a la cual se haga la prueba no ocasiona mucha diferencia en los resultados; pero es importante que la temperatura de: recipiente, del líquido y del cemento se mantenga constante

La principal aplicación que tiene el peso específico del cemento está relacionada con el diseño y control de mezclas de concreto.



Objetivo

Determinar el peso específico del cemento mediante el frasco volumétrico de Le Chatelier.

- Frasco de Le Chatelier
- Balanza con precisión dentro del 0.1g.
- Recipiente.
- Kérex o diésel.

Procedimiento:

1. Llenar el frasco de Le Chatelier con kérex o diésel hasta un punto situado entre las marcas cero y un mililitro de la escala inferior.
2. Secar las paredes del frasco y sumergir en agua.
3. Cuando el nivel del kérex o diésel se estabilice hacer la lectura inicial.
4. Pesar el frasco con el kérex.
5. Introducir el cemento en el frasco (aproximadamente 60gr), evitando que se adhiera a la pared.
6. Eliminar las burbujas mediante giros inclinados y limpiar el frasco.
7. Pesar el frasco con el kérex o diésel y la muestra.
8. Introducir el frasco en agua y cuando el nivel del kérex o diésel se estabilice hacer la lectura final.

CÁLCULOS:

$$P_e = \frac{P}{V}$$

$$P_1 = \text{Peso del frasco} + \text{kérex o diesel}$$

$$P_2 = \text{Peso del frasco} + \text{kérex o diesel} + \text{cemento}$$

$$P = P_2 - P_1$$

$$V_1 = \text{Nivel del kérex o diesel sin el cemento}$$

$$V_2 = \text{Nivel del kérex o diesel con el cemento}$$

$$V = V_2 - V_1$$



PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO		
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".		
#	P(gr)	V(ml)
1	349.01	0.7
2	412.16	21.1
Peso del cemento	63.15	-
Volumen del cemento	-	20.4

Tabla 20 Peso Específico del Cemento

$$P_e = \frac{P}{V} = \frac{63.15}{20.4}$$

Peso Específico del cemento: 3.1gr/cm³

3.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

3.3.1 Elaboración de Hormigones

El diseño de mezclas de hormigón es un proceso que radica en dos pasos dependientes entre sí:

- Selección de los componentes idóneos (cemento, agregados, agua y aditivos)
- Determinación de sus cantidades relativas para producir un concreto de una adecuada trabajabilidad, resistencia a compresión, durabilidad y económico.

Dependiendo de la aplicación y el uso del hormigón se pueden considerar otros criterios como son: los efectos de asentamientos diferenciales, flujo plástico, retracción y temperatura, concretos de retracción compensada y ambientes químicos especiales.

3.3.2 Calcular las proporciones en peso de los materiales mediante El Método del A.C.I.:

3.3.2.1 Determinación de la resistencia requerida ($f'c$)

Previo al diseño, se debe conocer los requisitos de funcionamiento y las condiciones de servicio que va a soportar el hormigón durante su vida útil. En este



caso se ha seleccionado una resistencia para estructuras de hormigón armado de:

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

3.3.2.2 Determinación de la resistencia promedio ($f'cr$)

Esta se puede determinar mediante el cálculo de la desviación estándar (s_s), siempre y cuando se disponga de un número mínimo de registros de ensayos consecutivos con materiales y condiciones similares a las esperadas. Para ello se va a usar el mayor valor obtenido de las siguientes ecuaciones:

$$f'cr = f'c + 1.34 s_s \quad \text{Ec. (1)}$$

$$f'cr = f'c + 2.33 s_s - 3.5 \quad \text{Ec. (2)}$$

Si se desconoce el valor de la desviación estándar (s_s), la resistencia promedio requerida podrá determinarse mediante la Tabla 21:

Resistencia especificada a la compresión, kg/cm^2	Resistencia promedio requerida a la compresión kg/cm^2
$f'c < 210$	$f'cr = f'c + 70$
$210 \leq f'c \leq 350$	$f'cr = f'c + 84$
$f'c > 350$	$f'cr = 1.10 f'c + 50$

Tabla 21 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de una muestra (Tabla 5.3.2.2-ACI 318S-08)

Por lo tanto:

$$f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

3.3.2.3 Selección del Asentamiento (Slump).

El revenimiento o asentamiento está en relación directa con el grado de fluidez y/o plasticidad (Tabla 22), pues un adecuado asentamiento mejora la trabajabilidad en la estructura, sea durante la construcción, como también en sus años de servicio.

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" (0mm) a 2" (50mm)
Plástica	3" (75mm) a 4" (100mm)
Fluida	$\geq 5"$ (125mm)

Tabla 22. Consistencia y Asentamientos



Si no se cuenta con especificaciones que señalen la consistencia en base a requerimientos de asentamientos, se puede diseñar empleando la Tabla 23, la cual selecciona un valor adecuado dependiendo del trabajo a llevarse a cabo (32).

Tipos de Construcción	Asentamiento (cm)	
	MAXIMO	MINIMO
Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto ciclópeo y masivo	5	2

Tabla 23. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.

Para el diseño de acuerdo con la Tabla 22 se ha tomado un asentamiento de **75mm**.

3.3.2.4 Selección del tamaño máximo nominal del agregado (TMN).

Se recomienda que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor económicamente disponible, pero que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura (32). Siempre que sea posible se debe usar agregados que cumplan con las normas establecidas por la ASTM, y que también vienen dadas en el Reglamento del ACI 318S-08 (33), en donde:

El tamaño máximo del agregado grueso no debe ser mayor a:

- 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado, ni a
- 1/3 de la altura de la losa, ni a
- 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

El tamaño máximo nominal seleccionado es de: $TMN = 3/8"$

**3.3.2.5 Estimación de agua de mezclado y contenido de aire.**

El Comité 211 del ACI recomienda la siguiente tabla para la estimación del agua de mezclado y contenido de aire en función del asentamiento y tamaño máximo nominal del agregado con/sin aire incorporado (ver Tabla 24).

Asentamiento o Slump		Agua en L/m ³ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
		10m m	12.5m m	20m m	25m m	40m m	50m m	70m m	150m m
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")		205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100 (3" a 4")		225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180 (6" a 7")		240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETO CON AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")		180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100 (3" a 4")		200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180 (6" a 7")		215	205	190	185	170	165	160	-
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Tabla 24. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

Como podemos notar, el asentamiento de 7.5 cm no está definido, por lo que debemos hacer una interpolación para obtener sus datos:

Asentamiento (x)	Agua en L/m ³ (y) cuando TMN = 3/8"
5	205
10	225

La interpolación la podemos obtener mediante la ecuación de una recta de la siguiente manera:

$$\frac{y - 205}{x - 5} = \frac{205 - 225}{5 - 10}$$



$$y = 4x + 185$$

Entonces, cuando el asentamiento (x) es 7.5 cm, la cantidad de agua (y) es **215 L/m³**.

De acuerdo a la Tabla 24, el contenido de aire que tiene el hormigón es de **3.0 %**.

3.3.2.6 Relación Agua/Cemento.

Existen dos criterios para establecer la relación agua/cemento, de modo que se garantice el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones en base a la resistencia y durabilidad.

Por resistencia.

Para hormigones preparados con cementos comunes, puede tomarse la relación a/c de la Tabla 25:

f ' cr (28 días)	Relación agua-cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	---
450	0.38	---

Tabla 25. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del hormigón.

Por durabilidad.

Según el Comité ACI 211, recomienda que si se desea un hormigón de baja permeabilidad y/o sometido a procesos de congelamiento y deshielo en condición húmeda, deberá cumplir los siguientes requisitos establecidos en la Tabla 26:

Condiciones de Exposición	Relación agua/cemento máxima
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce	0.5
b) Expuesto a agua de mar o aguas salubres	0.45



c) Expuesto a la acción de aguas cloacales	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas	0.45
b) Otros elementos	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15mm	0.45

Tabla 26. Máximas relaciones agua/cemento permisible para concretos sometidos a condiciones especiales de exposición.

De la misma manera para obtener la relación agua/cemento se debe interpolar:

$f'_{cr} (x)$	Relación $A/C (y)$
300	0.55
250	0.62

Interpolamos mediante la ecuación de una recta:

$$\frac{y - 0.55}{x - 300} = \frac{0.55 - 0.62}{300 - 250}$$

$$y = -0.0014x + 0.97$$

Cuando la resistencia promedio (x) es 294 kg/cm^2 , la relación agua / cemento (y) es **0.56**.

3.3.2.7 Contenido de Cemento.

Una vez determinadas la cantidad de agua y la relación a/c, la cantidad de cemento por unidad de volumen del hormigón se obtendrá dividiendo la cantidad de agua por la relación agua/cemento (a/c).



$$\text{Contenido de cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (L/m}^3\text{)}}{\text{Relación } a / c \text{ (para } f'_{cr}\text{)}}$$

$$\text{Contenido de cemento (kg/m}^3\text{)} = 385.03$$

3.3.2.8 Estimación del agregado grueso y del agregado fino.

El reglamento del ACI 211 establece el contenido de agregado grueso en función del módulo de finura del árido fino y el tamaño máximo nominal del árido grueso. La Tabla 27 permite obtener un coeficiente b/b_o que resulta de la división del peso seco del agregado grueso por el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m^3 .

Tamaño Máximo del Agregado Grueso		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino			
		Módulo de Fineza del Agregado Fino			
mm	Pulgadas	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 27. Módulo de fineza de la combinación de agregados.

Extrapolamos mediante la ecuación de una recta:

$$\frac{y - 0.46}{x - 2.8} = \frac{0.42 - 0.46}{3.0 - 2.8}$$

$$y = -0.2x + 1.02$$

Obteniendo la relación (b/b_o) igual a **0.405**, se procede a calcular la cantidad de agregado grueso necesario para 1m^3 de hormigón, de la siguiente manera:

$$\text{Peso seco del A. grueso (kg/m}^3\text{)} = b/b_o \times (\text{Peso unitario compactado del A. grueso})$$

$$\text{Peso seco del A. grueso (kg/m}^3\text{)} = 0.405 \times 1698.97$$

$$\text{Peso seco del A. grueso (kg/m}^3\text{)} = 688.21$$

Entonces los volúmenes de los agregados gruesos y finos serán:



$$Vol. agregado grueso (m^3) = \frac{Peso del agregado grueso}{Peso específico del agregado grueso}$$

$$Vol. agregado grueso (m^3) = \frac{688.21}{2450}$$

$$Vol. agregado grueso (m^3) = 0.281$$

Y el volumen de agregado fino sería:

$$Vol. agregado fino (m^3) = 1 - (Vol. agua + Vol. aire + Vol. cemento + Vol. agregado grueso)$$

$$Vol. agua(m^3) = \frac{215}{1000} = 0.215$$

$$Vol. aire(m^3) = \frac{3}{100} = 0.03$$

$$Vol. cemento(m^3) = \frac{Contenido de cemento}{Peso específico del cemento * 1000} = \frac{385.03}{3.1 * 1000} = 0.124$$

$$Vol. agregado fino (m^3) = 1 - (0.215 + 0.03 + 0.124 + 0.281)$$

$$Vol. agregado fino (m^3) = 0.350$$

3.3.2.9 Cálculo de pesos.

Los puntos anteriores se resumen en la Tabla 28:

Material	Peso secos de los agregados (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento	385.03	3100	0.12
Agua	215	1000	0.22
Agregado Grueso	688.21	2450	0.28
Agregado Fino	820.52	2345	0.35

Tabla 28. Pesos secos de agregados para 1m³ de hormigón.

Esto es lo necesario para preparar el hormigón, pero no será necesario preparar 1 m³, solamente se prepararán 0.0152 m³ aproximadamente, que es el volumen necesario para 4 probetas cilíndricas y para los ensayos de asentamiento.

3.3.2.10 Ajustes por humedad y absorción.

La cantidad de agua que se agregue para formar la pasta se ve afectada por la humedad contenida en los agregados, ya que:



- Si los agregados están secos al aire, entonces absorberán agua y eso disminuirá la relación a/c y con ello la trabajabilidad del hormigón.
- Por otro parte si los agregados contienen humedad libre en su superficie, ésta agua pasará a formar parte de la pasta aumentando con esto la relación a/c, la trabajabilidad y disminuyendo la resistencia a compresión.

Por lo tanto:

$$\text{Agregado grueso} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_g \\ \% \text{ de absorción} = \%a_g \end{cases}$$

$$\text{Agregado fino} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_f \\ \% \text{ de absorción} = \%a_f \end{cases}$$

En donde la corrección por humedad en los agregados húmedos se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Peso A. grueso húmedo (kg)} = (\text{Peso A. grueso seco}) \times \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right)$$

$$\text{Peso A. fino húmedo (kg)} = (\text{Peso A. fino seco}) \times \left(1 + \frac{\%W_f}{100}\right)$$

Y se tienen los siguientes pesos:

$$\text{Peso A. grueso húmedo (kg)} = (688.21) \times (1 + 1.56/100) = 698.941$$

$$\text{Peso A. fino húmedo (kg)} = (688.21) \times (1 + 3.57/100) = 849.808$$

Finalmente se realiza un ajuste a la cantidad de agua para la mezcla:

$$\text{Agua en agregado grueso} = (\text{Peso A. grueso seco}) \times \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100}\right) = X$$

$$\text{Agua en agregado fino} = (\text{Peso A. fino seco}) \times \left(\frac{\%W_f - \%a_f}{100}\right) = Y$$

$$\text{Agua efectiva (lts)} = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$

$$\text{Agua efectiva (lts)} = 215 - (-5.23 + 3.94) = 216.29$$



3.3.2.11 Cálculo de las proporciones en peso.

Cemento: Agregado Fino : Agregado Grueso / Agua

$$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. fino húmedo}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. grueso húmedo}}{\text{Peso cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Peso cemento}}$$

Las proporciones en peso obtenidas para el diseño del hormigón son:

$$1 : 2.207 : 1.82 / 0.56$$

3.3.2.12 Peso de los agregados para la elaboración del hormigón.

Finalmente luego de realizadas las correcciones por humedad se puede determinar la cantidad necesaria de agregados para elaborar 15.2 L. de hormigón, los resultados se muestran en las Tablas 29 y 30:

Material	Pesos corrección por humedad (kg)	Densidad (kg/m³)	Volumen (m³)	Proporciones peso
Cemento	385.03	3100	0.12	1.00
Agua	216.29	1000	0.22	0.56
Agregado Grueso	698.94	2450	0.29	1.82
Agregado Fino	849.808	2345	0.36	2.21

Tabla 29. Pesos corregidos por humedad para elaborar 1m³ de hormigón.

Material	Pesos (kg) para 1m³ de Ho.	Pesos (kg) para 15.2 L de Ho.
Cemento	385.03	5.85
Agua	216.29	3.29
Agregado Grueso	698.94	10.62
Agregado Fino	849.808	12.92

Tabla 30. Resumen de pesos para cantidad requerida de Ho.

3.3.3 Mezclado:

La duración del mezclado debe ser la necesaria para conseguir una mezcla homogénea de los distintos componentes; es recomendable que el tiempo transcurrido entre la adición del agua de amasado al cemento y a los áridos más la colocación del hormigón, no debe superar de una hora si no se emplean aditivos retardantes, y hasta un máximo de tres horas si se usan retardantes. Para la preparación del hormigón mezclado en obra es recomendable seguir estos pasos:

1. Humedecer la olla de la concreteira.
2. Colocar aproximadamente 1/3 del agua en la concreteira.



3. Colocar la grava.
4. Accionar la concreteira más o menos 30 segundos o hasta que el árido grueso este completamente humedecido.
5. Colocar el árido fino y el cemento.
6. Accionar la concreteira y colocar el resto del agua.
7. Mezclar los materiales durante 3 min. aproximadamente.
8. Apagarla concreteira durante 3 min. mientras se limpia las paredes.

3.3.4 Medir el Asentamiento

El asentamiento es un método que se emplea para determinar la consistencia y plasticidad del hormigón fresco, para esto se utiliza el cono de Abrams que consta de un molde troncocónico de 20cm de diámetro de base y 10cm de diámetro superior con una altura de 30cm. El asentamiento deseado depende de la forma de compactación.

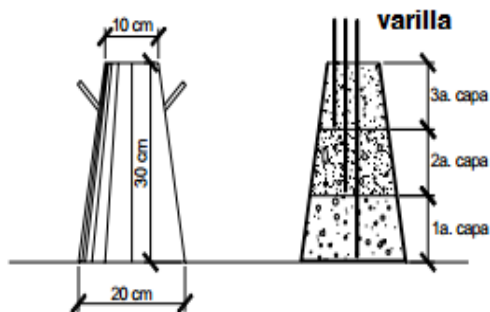


Ilustración 35 Cono de Abrams

A continuación se presentan los procesos en la comprobación del asentamiento:

1. Humedecer las paredes del cono de Abrams.
2. Colocar el cono sobre una superficie lisa horizontal.
3. Pisar el cono y proceder a llenar con la mezcla en tres capas iguales, en cada capa dar 25 golpes con una varilla lisa de 16mm de diámetro.
4. Enraizar y levantar el cono.
5. Medir el asentamiento.



Ilustración 36 Comprobación de Asentamiento

3.3.5 Moldeado de Probetas:

Se recomienda que los molde sea metal u otro material resistente, exentos de grietas o despuntes. La dimensión estándar de las probetas cilíndricas tiene diámetro interior de dimensión básica "d" y altura "2 d". Para la colocación del hormigón en las probetas, es recomendable seguir estos pasos:

1. Repasar los cilindros con un poco de aceite.
2. Llenar el cilindro con la mezcla en tres capas iguales, dando 25 golpes con la varilla en cada capa.
3. Enrasar y golpear suavemente con un martillo de hule para dar un buen terminado.



Ilustración 37 Moldeado de Probetas

3.3.6 Curado del Concreto:

Las probetas se desmoldan y se transportan al laboratorio para su curado después de 24 horas de confeccionadas. Es recomendable almacenar a temperaturas aproximadas a los 23° C, la piscina debe contener agua saturada con cal que las cubra totalmente, o en una cámara húmeda con humedad relativa ambiente superior al 95%, donde quedan hasta el momento del ensayo.



1. Sacar las probetas del molde.
2. Dejarlos sumergidos en agua durante el tiempo correspondiente hasta realizar los ensayos, en este caso 7, 14, 28 días.



Ilustración 38 Curado de Probetas

Es importante señalar, que se tomó una probeta con diferente porcentaje de lodo desecado de las plantas depuradora y potabilizadora, y se las aisló para su curado de manera tal que al realizar el análisis físico- químico se pueda revisar si los lodos quedaron o no en la matriz cementante.

3.3.7 Diferentes Ensayo a las probetas:

Se realizará ensayos de resistencia a compresión, tracción indirecta y tensión-deformación, para esto es necesario cumplir con los siguientes pasos:

1. Cumplidos los días hasta el ensayo, dejar las probetas unos 5-10 minutos para que se escurra el agua.
2. Pesar las probetas.
3. Determinar sus dimensiones.
4. Capear las bases de cada probeta con azufre fundido.
5. Colocar las probetas en las diferentes máquinas para sus respectivos ensayos.

3.4 DISEÑO DE MORTEROS

El mortero es a menudo uno de los materiales más usados en la construcción, por su amplia variedad de usos. En los últimos años se ha tenido un incremento en las obras civiles, principalmente edificaciones, en donde es empleado como material de relleno y de pega; a pesar de que no existen procedimientos técnicos de diseño, producción y control, como sucede con el hormigón.



Los morteros se denominan según sea el aglomerante, morteros de cal, yeso o de cemento.

- **Morteros calcáreos.**

Se caracteriza por ser un mortero muy manejable, sin embargo su resistencia es menor debido a su baja velocidad de endurecimiento.

- **Morteros de cal y cemento.**

Es un mortero con buena retención de agua, mejor trabajabilidad y alta resistencias iniciales. Es importante que en este tipo de mortero se aprovechen las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del cemento.

- **Mortero de cemento.**

Es un mortero que brinda alta resistencia inicial y posterior al endurecimiento. La trabajabilidad está directamente relacionada con la cantidad de cemento.

- **Mortero de yeso.**

El contenido de agua depende del grado de cocción, calidad y finura del yeso molido.

- **Mortero de yeso y cemento.**

3.4.1 CALCULAR LAS PROPORCIONES EN PESO DE LOS MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE MORTERO DE CEMENTO Y CAL

Al igual que los hormigones hay una variedad de métodos para diseñar morteros, sin embargo el diseño de los morteros es de ensayo-error. Para este trabajo de investigación se ha usado el siguiente método:

3.4.1.1 DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MORTERO

Existen tablas que recomiendan las proporciones en volúmenes aparentes, estas tablas varían según los destinos que se le vaya a dar a los morteros.

Para el diseño de morteros se basó en la Norma técnica Ecuatoriana que de acuerdo al Capítulo “Morteros para Unidades de Mampostería. Requisitos”: *“Los morteros que estén de acuerdo con las especificaciones por dosificación deben consistir de una mezcla de material cementante, árido y agua; y deben cumplir con los requisitos por dosificación”* (34) fijados en la Tabla 31.



Mortero	Tipo	Dosificaciones por volumen (materiales cementantes)							Relación de áridos (medidos en condición húmeda, suelta)	
		Cemente Portland o Cemento compuesto	Cemento para Mortero			Cemento para Mampostería				Cal hidratada o masilla de cal
			M	S	N	M	S	N		
Cemento y cal	M	1	-	-	-	-	-	-	¼	
	N	1	-	-	-	-	-	-	Sobre ¼ a ½	
	S	1	-	-	-	-	-	-	Sobre ½ a 1 ¼	
	O	1	-	-	-	-	-	-	Sobre 1 ¼ a 2 ½	
Cemento para mortero	M	1	-	-	1	-	-	-	-	
	M	-	1	-	-	-	-	-	-	
	S	½	-	-	1	-	-	-	-	
	S	-	-	1	-	-	-	-	-	
	N	-	-	-	1	-	-	-	-	
	O	-	-	-	1	-	-	-	-	
Cemento para mampostería	M	1	-	-	-	-	-	1	-	
	M	-	-	-	-	1	-	-	-	
	S	½	-	-	-	-	-	1	-	
	S	-	-	-	-	-	1	-	-	
	N	-	-	-	-	-	-	1	-	
	O	-	-	-	-	-	-	1	-	
NOTA: En el mortero n deben ser combinados dos agentes incorporadores de aire										

NOTA: En el mortero n deben ser combinados dos agentes incorporadores de aire

Tabla 31 Especificación por dosificación. Requisitos

En este caso al tratarse de un mortero Cemento y Cal, Tipo S:

$$\text{Dosificación por volumen: } \frac{1}{4} \text{ de cal}$$

Para la relación de la arena será 2.5 veces la suma de los volúmenes separados del cemento y cal

$$Vol. \text{ Aparente}_{arena} = 2.5 * (Vol. \text{ Aparente}_{cemento} + Vol. \text{ Aparente}_{cal})$$

$$Vol. \text{ Aparente}_{arena} = 2.5 * (1 + \frac{1}{4})$$

$$Vol. \text{ Aparente}_{arena} = 3.125$$

$$\text{Dosificación por volumen: } 3 \frac{1}{8} \text{ de arena}$$



3.4.1.2 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO POR ESPECIFICACIÓN POR PROPIEDADES.

“Los morteros que estén de acuerdo con las especificaciones por propiedades deben ser determinados mediante ensayos en morteros preparados en laboratorios “ (34), cuyos requisitos se encuentran en la Tabla 32 que se presenta a continuación:

Mortero	Tipo	Resistencia Promedio a la compresión a 28 días, mín., (MPa)	Retención de agua, %min	Contenido de aire, % máx.	Relación de áridos (medidos en condición húmeda, suelta)
Cemento y cal	M	17.2	75	12	No menos de $2\frac{1}{4}$ y no más de $3\frac{1}{2}$ veces los volúmenes separados de materiales cementantes.
	S	12.4	75	12	
	N	5.2	75	14	
	O	2.4	75	14	
Cemento para mortero	M	17.2	75	12	
	S	12.4	75	12	
	N	5.2	75	14	
	O	2.4	75	14	
Cemento para mampostería	M	17.2	75	18	
	S	12.4	75	18	
	N	5.2	75	20	
	O	2.4	75	20	

Tabla 32 Especificación por propiedades. Requisitos

De acuerdo con la tabla anterior se puede decir:

Resistencia promedio de Mortero Cemento y cal Tipo S = 12.4 MPa

3.4.1.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA A PARTIR DE UNA DOSIFICACIÓN ESTABLECIDA EN VOLUMENES APARENTES.

Las proporciones se establecen d la siguiente forma:

$$m : n : r$$

m = volumen aparente de cemento

n = volumen aparente de cal

r = volumen aparente de arena

$$1 : \frac{1}{4} : 3\frac{1}{8}$$



La cantidad de agua dependerá tanto de las características físicas de los materiales y de la plasticidad deseable en el mortero, para este proyecto se puede estimar entre un 12 a 15 % de la suma de los volúmenes aparentes de los componentes:

$$\text{Cantidad de agua} = 0.12 * (\text{Vol. Aparente}_{\text{arena}} + \text{Vol. Aparente}_{\text{cemento}} + \text{Vol. Aparente}_{\text{cal}})$$

$$\text{Cantidad de agua} = 0.12 * (1 + 1/4 + 3 \ 1/8)$$

$$\boxed{\text{Cantidad de agua} = 0.525}$$

3.4.1.4 PROPORCIÓN EN VOLÚMENES REALES

Para transformar las proporciones en volúmenes aparentes a volúmenes reales, es necesario multiplicarlas por sus pesos unitarios y dividirlos por sus pesos específicos, esta operación se realiza en cada componente del mortero.

A la relación peso unitario- peso específico δ/γ se la denomina como coeficiente de aporte (K), que la encontramos en la Tabla 33:

Coeficiente de Aporte	
Componente	(k)
Agua	1
Arena gruesa (naturalmente húmeda)	0.63
Arena mediana (naturalmente húmeda)	0.6
Arena gruesa seca	0.67
Arena fina seca	0.54
Cal en pasta	1
Cal en polvo	0.54
Canto rodado o grava	0.5 a 0.66
Cemento Portland	0.47
Cemento Blanco	0.37
Mármol granulado	0.52
Piedra partida	0.51

Tabla 33 Coeficiente de Aporte (k)

De esta manera la dosificación transformada a volúmenes reales sería:

$$m * C_m : n * C_n : r * C_r$$



de donde C_m ; C_n ; C_t son los coeficientes de aporte de los respectivos componentes.

$$1 * 0.47 : \frac{1}{4} * 0.54 : 3 \frac{1}{8} * 0.60$$

La suma de los volúmenes absolutos de los materiales componentes nos dará el volumen de mortero.

$$V = 0.47 + 0.135 + 1.875 + 0.525$$

$$V = 3.005$$

3.4.1.5 CÁLCULO DEL VOLUMEN APARENTE POR m^3

Se obtiene del cociente de la dosificación en relaciones en volumen aparente entre el volumen del mortero:

$$\text{Cemento: } \frac{1}{3.005} = 0.333$$

$$\text{Cal: } \frac{0.25}{3.005} = 0.083$$

$$\text{Arena: } \frac{3.125}{3.005} = 1.04$$

$$\text{Agua: } \frac{0.525}{3.005} = 0.175$$

3.4.1.6 DETERMINACIÓN DEL PESO DE CADA COMPONENTE:

Para obtener el peso de cada componente, se requiere del peso unitario obtenido en el laboratorio, mostrados en la Tabla 34:

Material	Peso Unitario (gr/cm^3)
Cemento	1.193
Cal	0.8
Arena	1.554
Agua	1

Tabla 34 Peso Unitario de los componentes de Mortero

$$\text{Peso del Componente} = \text{Vol. Aparente } \frac{p}{m^3} * \text{Peso Unitario del Componente}$$



$$\text{Cemento: } 0.333 * 1.193 = 0.397 \text{ ton}$$

$$\text{Cal: } 0.083 * 0.8 = 0.0665 \text{ ton}$$

$$\text{Arena: } 1.04 * 1.554 = 1.616 \text{ ton}$$

$$\text{Agua: } 0.175 * 1 = 0.175 \text{ ton}$$

Finalmente luego de realizados los respectivos cálculos se presenta a continuación la Tabla 35, en donde se resume el peso de cada componente para la elaboración de 0.1476m³ de mortero:

Material (1)	Dosificaciones en Vol. Aparente (2)	Coficiente de Aporte (3)	Vol. Real (4)=(2)*(3)	Vol. Aparente p/1m ³ (5)=(2)/suma	Peso p/1m ³ (6)=(5)*γ (ton)	Peso p/0.15 m ³ (6)=(5)*γ (kg)
Cemento	1	0.47	0.47	0.333	0.397	0.582
Cal	0.25	0.54	0.135	0.083	0.066	0.097
Arena	3.125	0.6	1.875	1.040	1.616	2.370
Agua	0.525	1	0.525	0.175	0.174	0.256
Suma			3.005			

Tabla 35 Resumen de pesos para cantidad requerida de Mortero

3.4.2 Mezclado

- Se coloca en la batidora el agua, luego el cemento y la cal y durante 30 segundos batir a velocidad baja
- Posteriormente adicionar arena y durante los próximos 30 segundos batir a velocidad media.
- Después de preparado el mortero hay que dejarlo quieto en la mezclador por 90 segundos, sin cubrirlo. Durante los últimos 15 segundos de este intervalo, rápidamente se debe raspar el mortero, pegado en las paredes y luego remezclar por 15 segundos a la velocidad lenta.

3.4.3 Ensayo de Fluides

Para este proyecto se consideró que la fluides está en un rango entre 110+/- 5, pues se considera un mortero plástico.

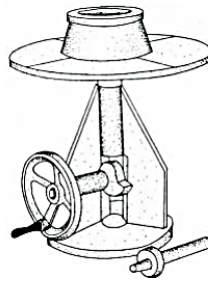


Ilustración 39 Mesa de Fluidez

- Se limpia y seca la plataforma de la mesa de flujo, se coloca el molde en el centro.
- Se vierte en el molde una capa del mortero que se requiere ensayar, de unos 25mm de espesor, y se apisona con 20 golpes del compactador, uniformemente distribuidos.
- Con una segunda capa de mortero, se llena totalmente el molde y se apisona como la primera capa. La presión del compactador, será la suficiente que asegure el llenado uniforme del molde.
- Se retira el exceso de mortero de la capa superior y se enraza la superficie por medio de un palustre.
- Se deja caer la mesa de flujo desde una altura de 12.7mm 25 veces durante 15 segundos.
- Luego se mide el diámetro de la base de la muestra, por lo menos en cuatro puntos equidistantes y se calcula el diámetro promedio.

La fluidez es el aumento del diámetro de la muestra, expresado como un porcentaje del diámetro de la base mayor del molde, según la siguiente fórmula:

$$\%Fluidez = \frac{\text{Diámetro promedio} - 101.6 \text{ mm}}{101.6 \text{ mm}} * 100$$

Diámetros	Valor
1	21 cm
2	22 cm
3	19.5 cm
4	21 cm

Diámetro promedio= **20.88 cm**

$$\%Fluidez = \frac{\text{Diámetro promedio} - 101.6 \text{ mm}}{101.6 \text{ mm}} * 100$$



$$\%Fluidez = \frac{20.88 \text{ cm} - 10.16 \text{ cm}}{10.16 \text{ cm}} * 100$$

$$\%Fluidez = 105.46\%$$



Ilustración 40 Comprobación de Fluidez

3.4.4 Moldeado de Probetas

- Se inicia el llenado de los compartimientos del molde, colocando una capa de más o menos 25mm de espesor, en cada uno de los compartimientos, y se apisonan con 32 golpes que se aplicaran sobre la superficie, en 2 etapas de 16 golpes adyacentes cada una.
- Los golpes de cada etapa se darán siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior; la presión del compactador será tal que asegure el llenado de los compartimientos. Se deben completar las dos etapas de compactación, en cada compartimiento, antes de seguir con el siguiente. Una vez terminada la etapa de la primera capa en todos los compartimientos, se llenan con la segunda capa y se procede como en la primera.
- Al finalizar la compactación las caras superiores de los cubos, deben quedar un poco más altas que el borde superior de los moldes. La superficie de los cubos debe ser alisada con la parte plana del palustre.



Ilustración 41 Moldeado de Morteros



3.4.5 Curado del Mortero

Las probetas se desmoldan y se colocan en una cámara húmeda con humedad relativa ambiente superior al 95%, donde quedan hasta el momento del ensayo.

- Sacar las probetas del molde.
- Dejarlos sumergidos en agua durante el tiempo correspondiente hasta realizar los ensayos, en este caso 7, 14, 28 días.

3.5 ELABORACIÓN DE LADRILLOS

3.5.1 Extracción de la materia prima

La mayoría de personas dedicadas a fabricar ladrillos cuentan con reservas propias. Por lo general la explotación de esta materia prima es de manera artesanal empleando herramientas como: picos, palas y carretillas; pudiendo ser necesario el uso de retroexcavadoras o maquinaria pesada cuando se trate de grandes volúmenes.

3.5.2 Selección y Batido del Material

Posteriormente a la extracción, el material debe ser reducido a pequeñas partículas mediante instrumentales manuales (picos, palas), y simultáneamente se aísla todo material extraño. A continuación son mezcladas con suficiente agua y colocadas en noques para el batido (35)

Para el batido de grandes cantidades de arcilla se requiere un lapso aproximado de 6 a 8 horas con pisoteo de animales.



Ilustración 42 Batido de Arcilla con pisoteo de animales (Fuente: Proyecto EELA Ecuador)

3.5.3 Moldeo de Ladrillos

En esta etapa el uso de aserrín es importante con el objetivo de absorber el agua en exceso (su cantidad no siempre es fija, varía de un sector a otro). Se colocan



los moldes de madera sobre el piso para proceder a su llenado. De forma inmediata se los retira y se los pone a secar.

3.5.4 Perfilado o raspado del Ladrillo

Transcurrido los 15 primeros días se procede al perfilado de las caras y filos del ladrillo empleando el filo de un machete o un pedazo de madera de borde regular.



Ilustración 43 Perfilado de Ladrillo (fuente EELA Ecuador)

3.5.5 Proceso de Cocción u Horneado del Ladrillo Artesanal

Transcurrido el tiempo necesario para la pérdida de mayor cantidad de humedad, se procede al acomodamiento de los ladrillos en el interior del horno, de tal manera que se tenga una mejor distribución del calor.



Ilustración 44 Proceso de Cocción de los Ladrillos

3.5.6 Determinación del peso de cada componente

Material necesario para la elaboración de un ladrillo, volumen 2505.75 cm ³			
Material	Pesos (gr.) Testigo	Pesos (gr.) con 5% de L.D.U	Pesos (gr.) con 10% de L.D.U
Tierra negra arcillosa	2186.84	2041.05	1895.26
Tierra roja arcillosa	2186.84	2041.05	1895.26
Agua	1457.89	1457.89	1457.89
Lodo D. Ucubamba	-	291.58	583.16

Tabla 36 Peso de cada componente



4 RESULTADOS

4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

4.1.1 Resistencia a la compresión de Hormigones con Lodos Deshidratados provenientes de PTAR "Ucubamba" y PTAP "Sústag".

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EMPLEANDO LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE LA PTAR "UCUBAMBA"						
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".						
Ensayo	Descripción de la Probeta	Peso (gr.)	Diámetro (Ø) cm	altura (h) cm	Área (cm²)	Carga (KN) Resistente
Ensayo a los 7 días	T.1	3558	10	20	78.540	110.403
	U.5.1	3605	10.12	20	80.436	116.678
	U.10.1	3598	10	20.15	78.540	103.751
	U.15.1	3604	10.15	19.95	80.914	86.577
Ensayo a los 14 días	T.2	3574	10.1	20	80.118	151.900
	U.5.2	3620	10	20	78.540	117.878
	U.10.2	3594	10.05	20.15	79.327	130.581
	U.15.2	3583	10	20	78.540	89.407
Ensayo a los 28 días	T.3	3682	10	10.12	78.540	192.700
	U.5.3	3610	10.2	19.95	81.713	134.990
	U.10.3	3564	10.12	20.15	80.436	152.870
	U.15.3	3559	10.15	20.1	80.914	125.780

Tabla 37 Características de los Cilindros LDU



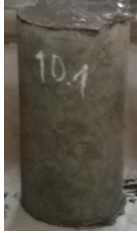
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EMPLEANDO LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE LA PTAR "UCUBAMBA"				
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".				
	Testigo	Probeta al 5%	Probeta al 10%	Probeta al 15%
Resistencia Obtenida Kg/cm ²				
Resistencia Teórica Kg/cm ² (7 días)	140.00			
Resistencia Kg/cm ² (7 días)	143.44	151.59	134.80	112.48
Resistencia Teórica Kg/cm ² (14 días)	168.00			
Resistencia Kg/cm ² (14 días)	172.87	153.15	167.97	116.16
Resistencia Teórica Kg/cm ² (28 días)	210.00			
Resistencia Kg/cm ² (28 días)	250.15	175.38	198.61	163.42

Tabla 38 Resultados de la Resistencia a Compresión LDU



CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EMPLEANDO LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE LA PTAP "SUSTAG"						
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".						
Ensayo	Descripción de la Probeta	Peso (gr.)	Diámetro (Ø) cm	altura (h) cm	Área (cm²)	Carga (KN) Resistente
Ensayo a los 7 días	T.1	3608	10	20	78.540	110.403
	S.5.1	3595	10	20	78.540	58.800
	S.10.1	3582	10	20	78.540	39.200
	S.15.1	3584	10	20	78.540	19.600
Ensayo a los 14 días	T.2	3604	10.1	20	80.118	151.900
	S.5.2	3610	10	20	78.540	78.400
	S.10.2	3597	10	20	78.540	44.100
	S.15.2	3592	10	20	78.540	19.600
Ensayo a los 28 días	T.3	3682	10	10.12	78.540	192.700
	S.5.3	3635	10.15	20.15	80.914	91.720
	S.10.3	3661	10.25	20.35	82.516	26.940
	S.15.3	3676	10.35	20.55	84.134	16.985

Tabla 39 Características de los Cilindros LDS

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EMPLEANDO LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE LA PTAP "SUSTAG"				
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".				
	Testigo	Probeta al 5%	Probeta al 10%	Probeta al 15%
Resistencia Obtenida Kg/cm²				
Resistencia Teórica Kg/cm² (7 días)	140.00			
Resistencia Kg/cm² (7 días)	143.44	76.39	25.46	50.93



Resistencia Teórica Kg/cm ² (14 días)	168.00			
Resistencia Kg/cm ² (14 días)	172.87	101.859	57.3	25.46
Resistencia Teórica Kg/cm ² (28 días)	210.00			
Resistencia Kg/cm ² (28 días)	250.15	119.16	35.04	22.05

Tabla 40 Resultados de la Resistencia a Compresión LDS

4.1.2 Resistencia a la compresión de Morteros con Cenizas de Lodos provenientes de PTAR “Ucubamba” y PTAP “Sústag”

PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".							
Ensayo	Descripción de la Probeta	Peso (gr.)	Base (cm)	anchura (cm)	Profundidad (cm)	Área (cm ²)	Carga (KN) Resistente
Ensayo a los 7 días	T.1	268	5	5	5,05	25,000	17,848
	C.1	264	4,9	5,1	5	24,990	3,784
	U.1	276	4,9	5	5	24,500	2,341
	S.1	272	5	5,05	5,1	25,250	0,749
Ensayo a los 14 días	T.2	275	5	4,95	5,15	24,750	37,675
	C.2	266	5,15	5	5	25,750	7,263
	U.2	274	4,9	5	5,05	24,500	6,468
	S.2	260	5,1	5	5	25,500	1,304
Ensayo a los 28 días	T.3	277	5,15	5,05	5,03	26,008	51,710
	C.3	272	5,2	5,2	5,15	27,040	27,648
	U.3	272	5,2	5,1	5,15	26,520	26,750
	S.3	256	5	5,15	5,25	25,750	2,450

Tabla 41 Características de los Morteros con cenizas de LDS y LDU

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS EMPLEANDO LODOS PROVENIENTES DE LA PTAR "UCUBAMBA" Y PTAP "SUSTAG"				
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".				
	Testigo (T)	Mortero Bastardo (C)	Mortero Ucubamba (U)	Mortero Sústag (S)
Resistencia Obtenida Kg/cm ²				
Resistencia Kg/cm ² (7 días)	72.85	15.45	9.75	3.025
Resistencia Kg/cm ² (14 días)	155.33	28.75	26.94	5.22
Resistencia Kg/cm ² (28 días)	211.061	112.847	109.194	9.610

Tabla 42 Resultados de la Resistencia a Compresión de Morteros con cenizas de LDU y LDS

4.1.3 Resistencia a la compresión de Ladrillos con Lodos provenientes de PTAR "Ucubamba".

CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILLOS PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EMPLEANDO LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE LA PTAR "UCUBAMBA"					
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".					
Descripción de la Probeta	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Lado 3 (cm)	Área (cm ²)	Carga (KN) Resistente
T.1	13,3	25,7	7,6	341,810	138,670
L.5	13	25,7	7,5	334,100	211,994
L.10	12,9	25,7	7,4	331,530	129,615

Tabla 43 Características de Ladrillos LDU

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LADRILLO EMPLEANDO LODOS PROVENIENTES DE LA PTAR "UCUBAMBA"			
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".			
	Testigo	Ladrillo al 5%	Ladrillo al 10%
Carga Máxima y Resistencia Obtenida			
Carga Máxima (Kgf)	14150	21632	13226
Resistencia (Kg/cm²)	41.95	64.62	39.66

Tabla 44 Resultados de la Resistencia a Compresión de Ladrillos LDU

4.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA

4.2.1 Resistencia a la Tracción Indirecta de Hormigones con Lodos Deshidratados provenientes de PTAR "Ucubamba" y PTAR "Sústag".

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DEL HORMIGÓN EMPLEANDO LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE LA PTAR "UCUBAMBA" Y PTAR "SUSTAG"						
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".						
Lodos Provenientes de:	Descripción de la Probeta	Peso (gr.)	Diámetro (Ø) cm	altura (h) cm	Área (cm²)	Carga (KN) Resistente
T.4		3695	10.1	20.2	80.118	70.252
SUSTAG	S.5.4	3607	10.1	19.85	80.118	28.120
	S.10.4	3619	9.9	20.2	76.977	7.643
	S.15.4	3553	10.1	20.1	80.118	5.898
Ucubamba	S.5.4	3650	10.1	20.1	80.118	57.561
	S.10.4	3706	10.1	20.5	80.118	86.200
	S.15.4	3650	10.2	20.5	81.713	35.480

Tabla 45 Características de los Cilindros LDS y LDU



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DEL HORMIGÓN EMPLEANDO LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE LA PTAR "UCUBAMBA"				
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".				
	Testigo	Probeta al 5%	Probeta al 10%	Probeta al 15%
Resistencia Obtenida Kg/cm ²				
Carga Máxima (KN)	70.25	57.56	86.20	35.48

Tabla 46 Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta con LDU

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DEL HORMIGÓN EMPLEANDO LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE LA PTAP "SUSTAG"				
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".				
	Testigo	Probeta al 5%	Probeta al 10%	Probeta al 15%
Resistencia Obtenida Kg/cm ²				
Carga Máxima (KN)	70.25	28.12	7.64	5.90

Tabla 47 Resultados de la Resistencia a Compresión con LDS



5 ANALISIS Y DISCUSIÓN

Previo al análisis y discusión de los resultados, es necesario indicar algunas condiciones bajo las cuales se han realizado los ensayos, aspecto importante para su interpretación.

- El proceso de elaboración de los hormigones, morteros y ladrillos, se realizó en un ambiente controlado, por lo que las propiedades del hormigón y mortero fresco, como tiempos de fraguado y trabajabilidad no se alteraron.
- En el proceso de curado las probetas estuvieron expuestas a una temperatura mayor a 10°C, acorde a la norma ASTM-C31, por lo que cualquier efecto de temperatura en los análisis de esfuerzo, queda descartado.
- El asentamiento fue controlado y medido en las diferentes preparaciones de la mezcla de hormigón, obteniéndose un valor de 75mm en todos los casos, acorde al diseño teórico del hormigón.

Bajo estas condiciones, la investigación realizada permite determinar el comportamiento de los nuevos materiales con las diferentes dosificaciones de lodo sustituyente que forman la matriz cementante en hormigones y morteros, y una matriz vítrea o cerámica en el caso de los ladrillos. Los ensayos realizados a las probetas faculta el siguiente análisis.



5.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE HORMIGONES CON LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE PTAR "UCUBAMBA" Y PTAP "SÚSTAG".

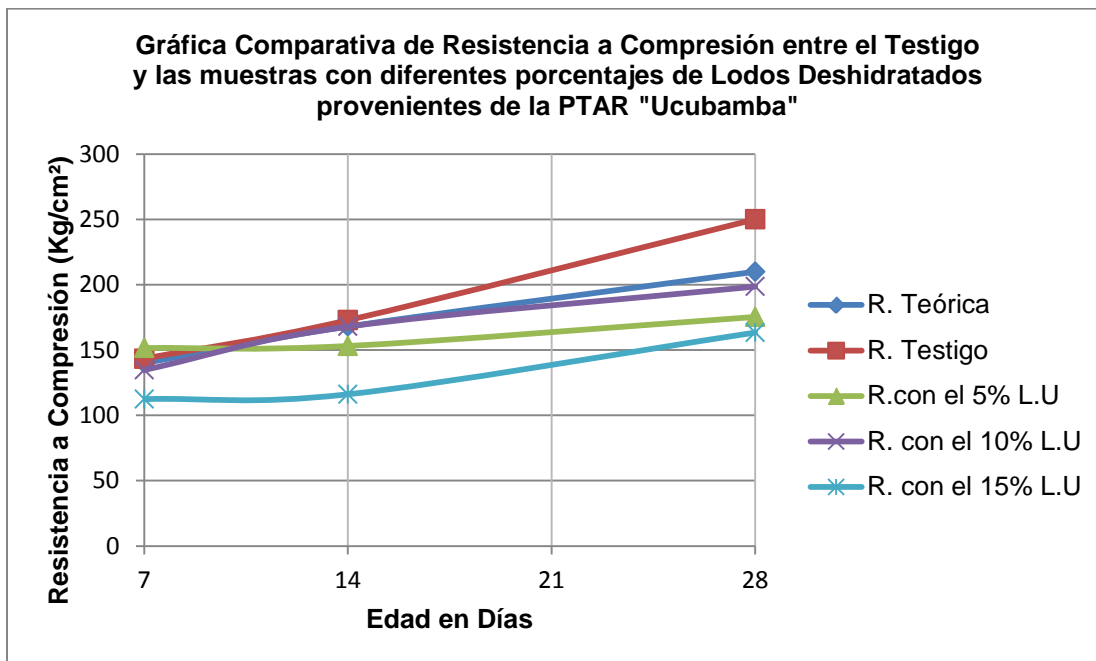


Ilustración 45 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión LDU

En la Ilustración 45 se puede apreciar que a los 7 días la resistencia del hormigón con el 5% de Lodos Deshidratados de Ucubamba es superior a la resistencia teórica y al testigo; a medida que transcurre el tiempo las resistencias de los hormigones con los diferentes porcentajes de lodo aumentan pero no superan la resistencia teórica; en el caso del hormigón con el 10% de lodo sustituyente, su resistencia a los 28 días, es ligeramente menor (alrededor del 5.43%) del hormigón teórico.

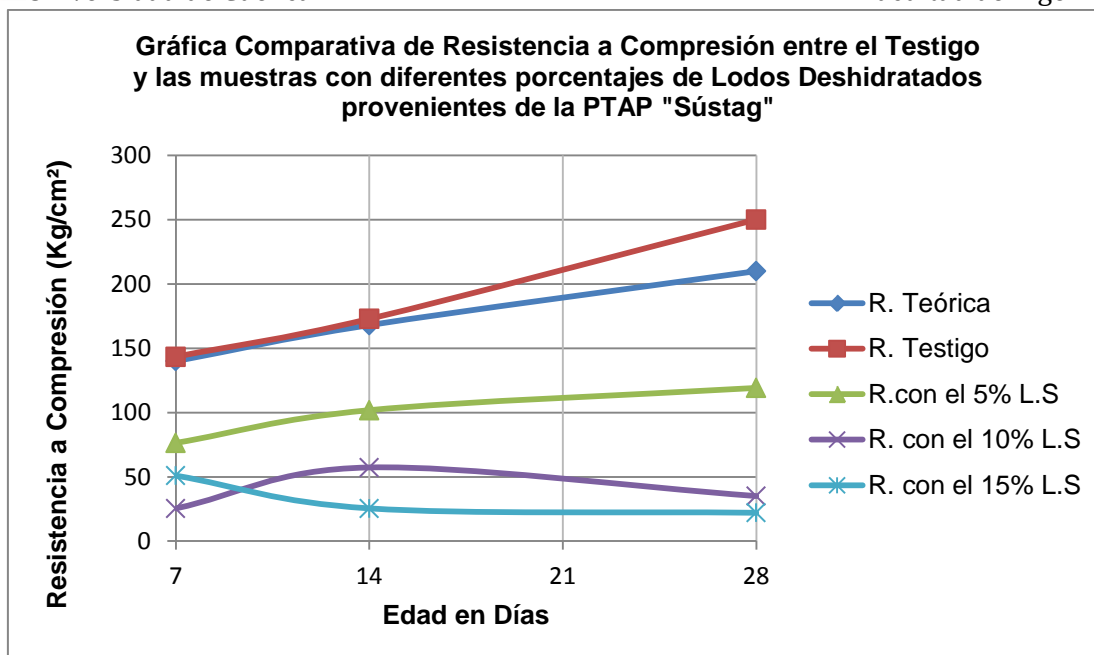
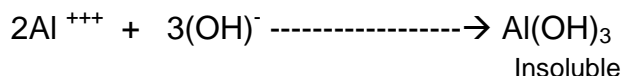
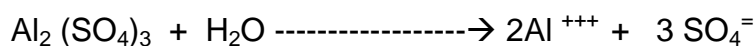


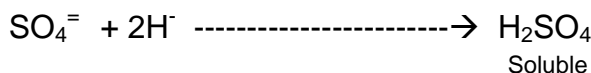
Ilustración 46 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión LDS

En la Ilustración 46, se observa que la resistencia de los hormigones con las distintas proporciones agregadas de Lodos Deshidratados provenientes de la PTAP "Sústag", desde los primeros ensayos, son mucho menores que las resistencias teórica y el testigo; esto se debe al ataque por sulfatos presentes en los lodos, y que provienen de la sal de sulfato de aluminio empleada como coagulante en la planta de tratamiento; es decir, que no se trata de una agresión exterior (suelos particularmente arcillosos, sulfatos disueltos en capas freáticas, o ambientes urbanos o industrializados).

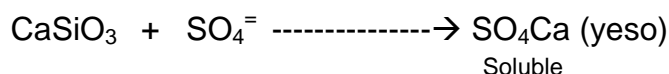
En principio la sal de aluminio en agua, se ioniza en iones sulfato y aluminio, los iones sulfato reaccionan con los iones hidrógeno del agua, formando ácido sulfúrico que debe solubilizarse en el agua tratada, y el aluminio reacciona con el ion oxidrilo del agua para formar hidróxido de aluminio, que al ser insoluble forma parte del lodo (material utilizado en los ensayos). Pero las reacciones mencionadas no ocurren exactamente como lo establecido en la teoría; por razones de temperatura, tiempo, y concentraciones, es posible que algo de aluminio esté en la solución, y los iones sulfato formen parte del lodo.

Las reacciones mencionadas, se expresan así:





La reacción química que explica el ataque de los sulfatos a la matriz aglomerante, es debida a que consume iones calcio de las estructuras de silicato de calcio, compuesto fundamental en la formación química del hormigón, restándole resistencia.



Aunque las diferencias en el comportamiento de las probetas en el ensayo a compresión son evidentes, se puede elaborar curvas comparativas con los resultados de la PTAP "Sústag" y PTAR "Ucubamba", esto es con el fin de determinar la dosis óptima de lodo, bajo la cual se presentan las mejores condiciones de resistencia y los usos estructurales y constructivos que se los pueden dar; es posible también determinar el porcentaje de lodo que puede quedar encapsulado en las probetas y con esto determinar los volúmenes de lodo que reemplazarían al árido fino, pero en los ensayos que presenten las mejores características de resistencia.

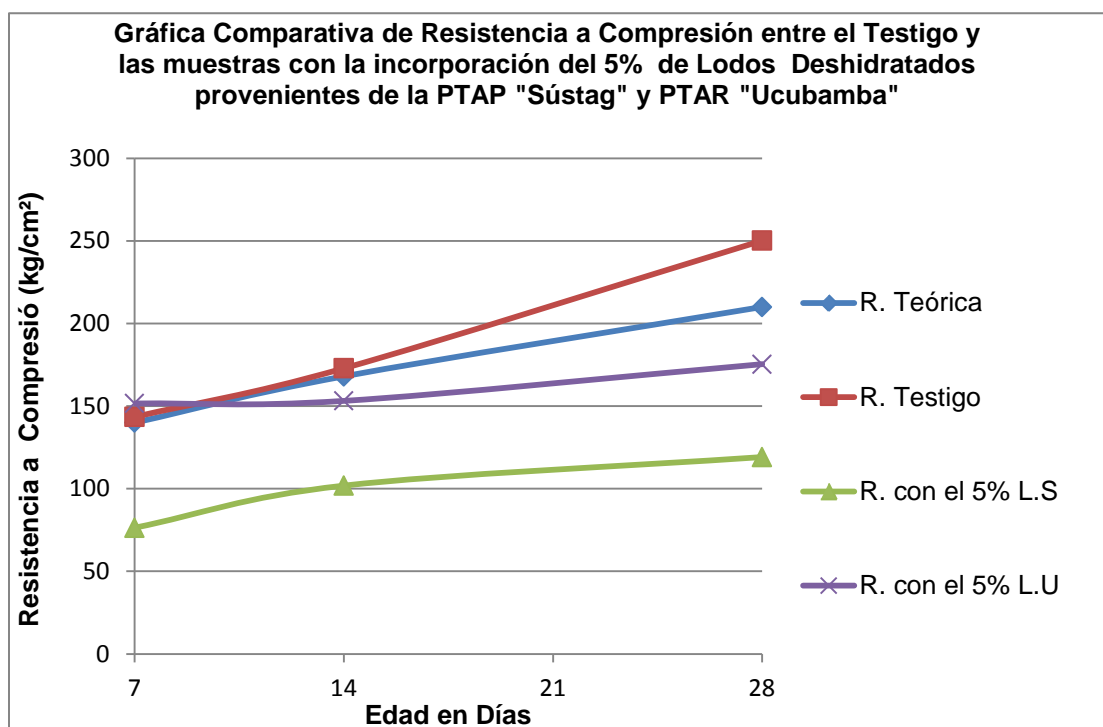


Ilustración 47 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión con el 5% de LDU Y LDS



En la Ilustración 47 el hormigón elaborado con lodo de una planta depuradora tiene un mejor comportamiento a compresión vs el hormigón elaborado con el lodo de una planta potabilizadora. Para este ensayo se ha seleccionado un mismo porcentaje de reemplazo del árido fino por lodo desecado de la PTAP y la PTAR.

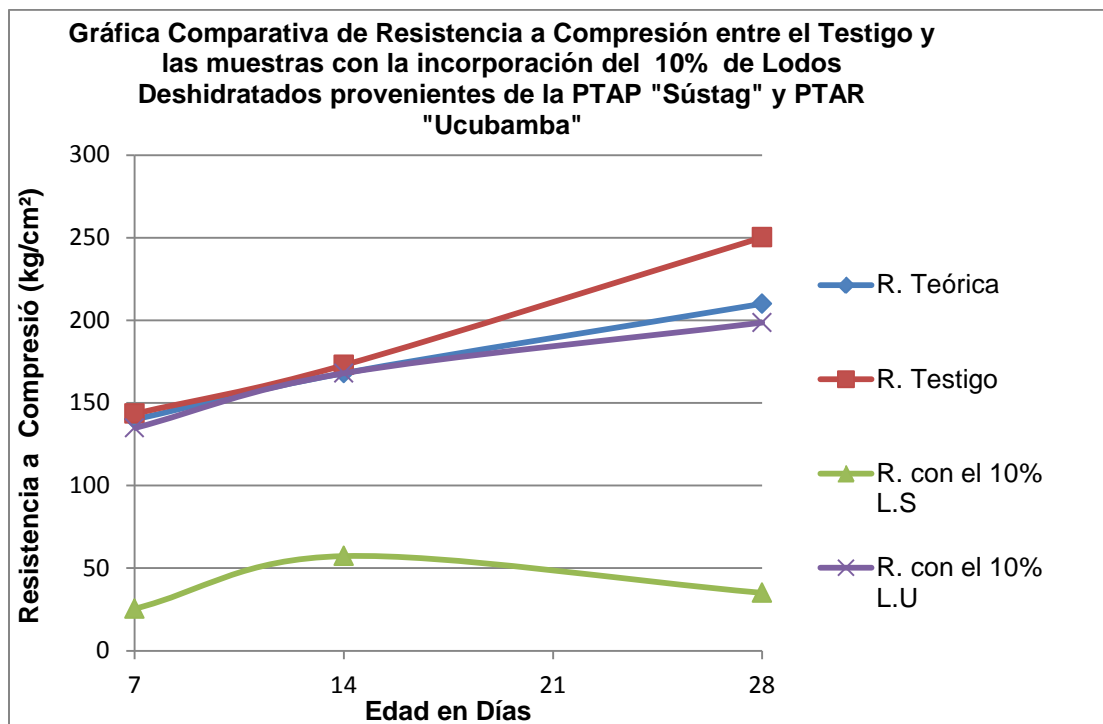


Ilustración 48 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión con el 10 % LDU Y LDS

Se observa que al incrementar el porcentaje a un 10% de lodo proveniente de la planta potabilizadora su resistencia disminuye considerablemente, no así en el caso de la probeta con lodo de una depuradora que incrementa la resistencia con el transcurso del tiempo presentando un comportamiento similar a la gráfica de la resistencia teórica, observada en la Ilustración 48.

El descenso de la resistencia, probablemente es debido a que durante la reacción del lodo con los constituyentes de la arcilla, se libera un exceso de cal libre CaO (cal viva), que al reaccionar con el agua se transforma en cal apagada Ca(OH)_2 ; esta reacción es fuertemente expansiva generando un efecto de destrucción de la matriz coloidal que ya avanza en el proceso de fraguado; por lo que este efecto de la “cal libre”, es una reacción indeseable en el proceso de endurecimiento de los materiales, con incidencia directa en la resistencia de los mismos.

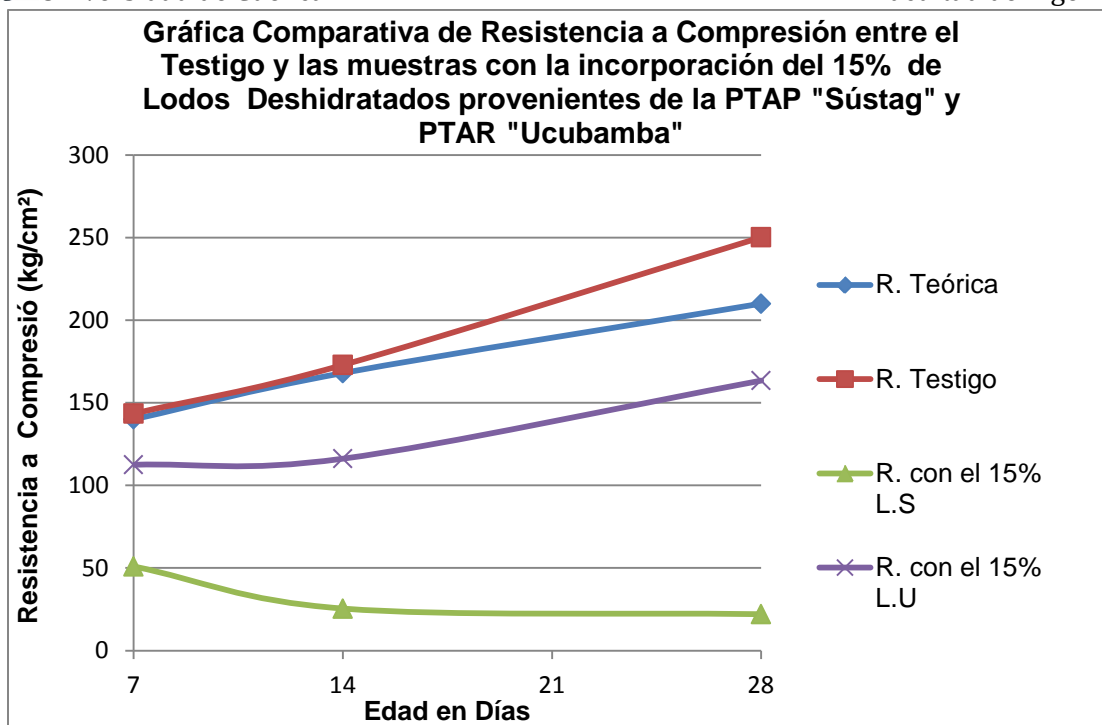


Ilustración 49 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión con el 15% de LDU Y LDS

Esta gráfica (Ilustración 49) muestra el comportamiento de los hormigones con un 15% de lodo, notándose nuevamente que la resistencia del hormigón que contiene lodo de potabilizadora es por mucho menor a la resistencia teórica y a la del hormigón que contiene lodo de depuradora. Pudiendo confirmarse el ataque interno debido a los sulfatos presentes en el lodo.



5.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS CON CENIZAS DE LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE PTAR "UCUBAMBA" Y PTAP "SÚSTAG".

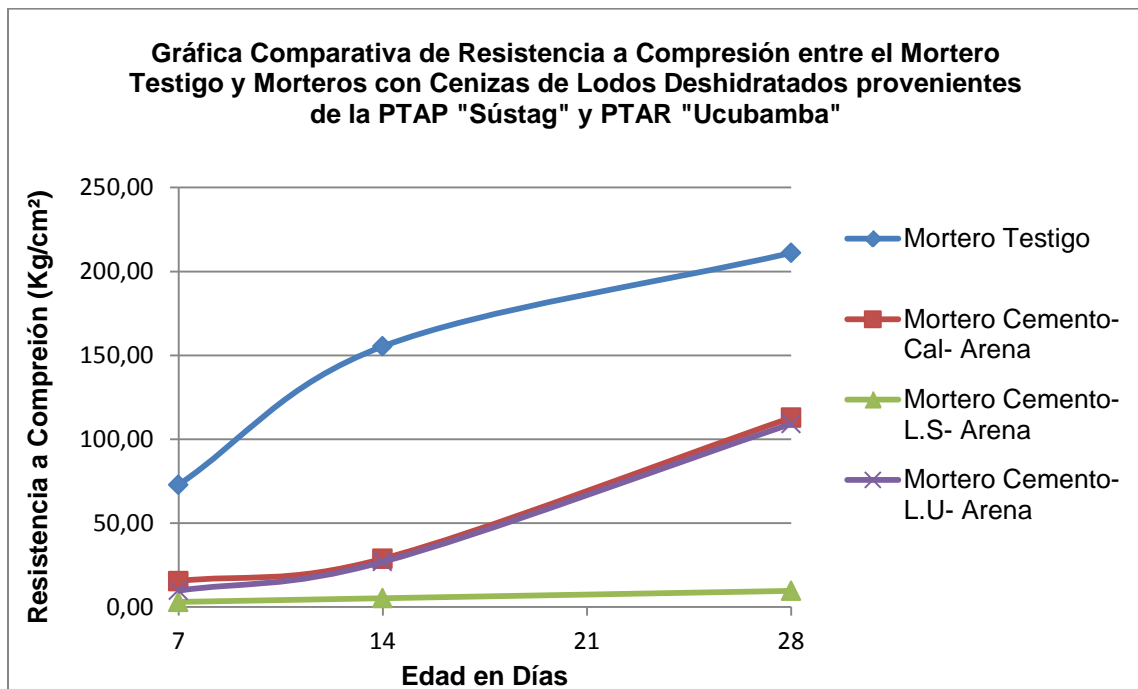


Ilustración 50 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión de Morteros con ceniza de lodos provenientes de PTAR y PTAP

La Ilustración 50 muestra claramente el comportamiento de los morteros elaborados con cenizas provenientes de la incineración del lodo de PTAP y PTAR. Para esto se realizó un ensayo de compresión a los 7, 14 y 28 días. Se observa que la resistencia del mortero testigo (cemento, arena y agua) es mayor a del mortero bastardo (cal, arena, cemento y agua) y supera notablemente a la resistencia de los morteros con cenizas (ceniza, arena, cemento y agua). Sin embargo también es posible afirmar que el comportamiento del mortero que contiene ceniza de LDU presenta una curva de comportamiento a resistencia muy similar a la del mortero que contiene cal; por otro lado el mortero que contiene ceniza de LDS no presenta mejoría alguna en términos de resistencia



5.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LADRILLOS CON LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE PTAR "UCUBAMBA"

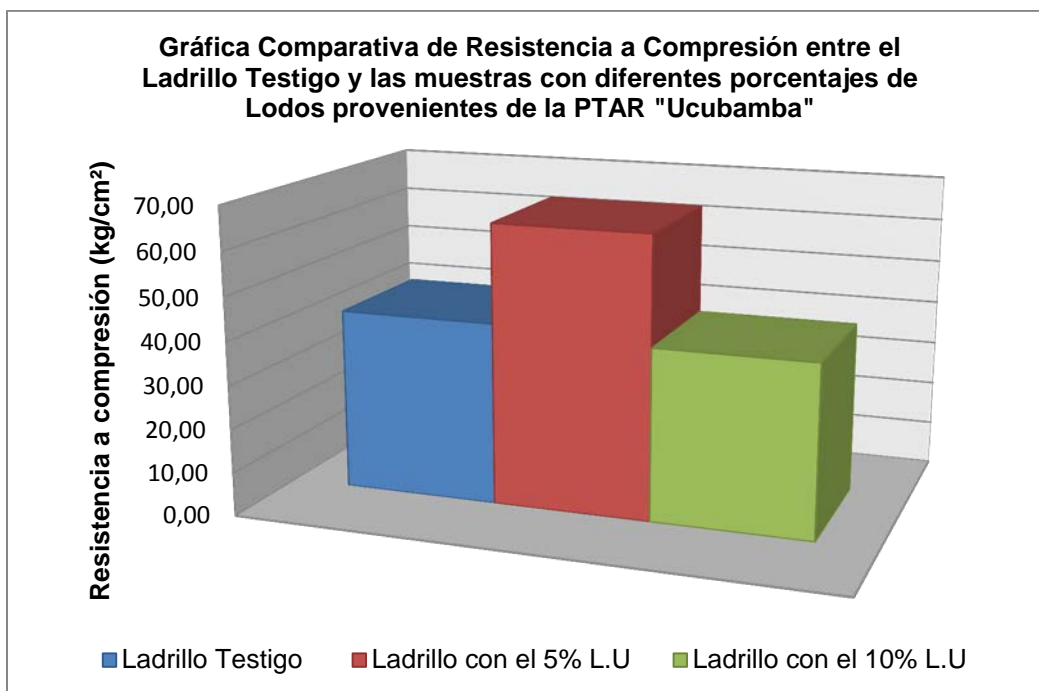


Ilustración 51 Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión de Ladrillos

Esta gráfica (Ilustración 51) muestra un notable incremento en la resistencia a compresión en el ladrillo en el que se ha reemplazado con el 5% de lodo del peso total de los materiales utilizados en la fabricación tradicional. A medida que el porcentaje de lodo reemplazado aumenta, la resistencia disminuye, observándose que la incorporación de un 10% de lodos da por resultado una resistencia similar a la de un ladrillo tradicional. Esto debido a la presencia de cal libre como se mencionó en los casos anteriores.



5.4 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DE HORMIGONES CON LODOS DESHIDRATADOS PROVENIENTES DE PTAR “UCUBAMBA” Y PTAP “SUSTAG”

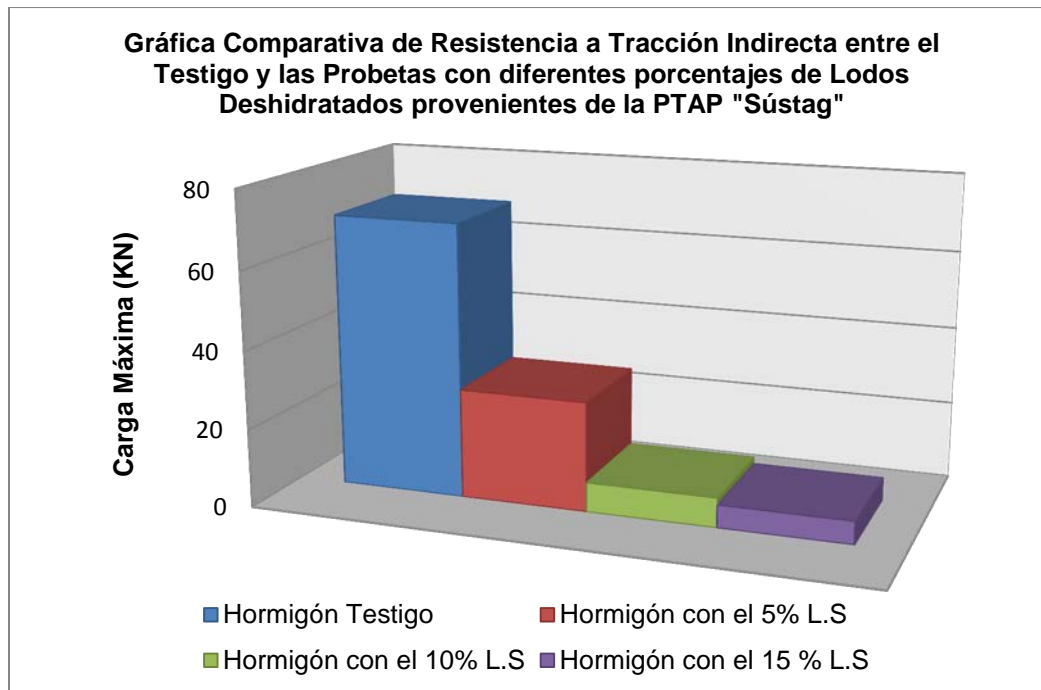


Ilustración 52 Gráfica Comparativa de Resistencia a Tracción Indirecta LDS

Un primer ensayo de tracción indirecta, se realizó con los hormigones que contienen lodos provenientes de la planta potabilizadora, en donde una vez más se demuestra que los efectos de corrosión provocados por la presencia de sulfatos disminuyen la capacidad para resistir cargas puntuales generalmente provocadas en pavimentos (Ilustración 52).

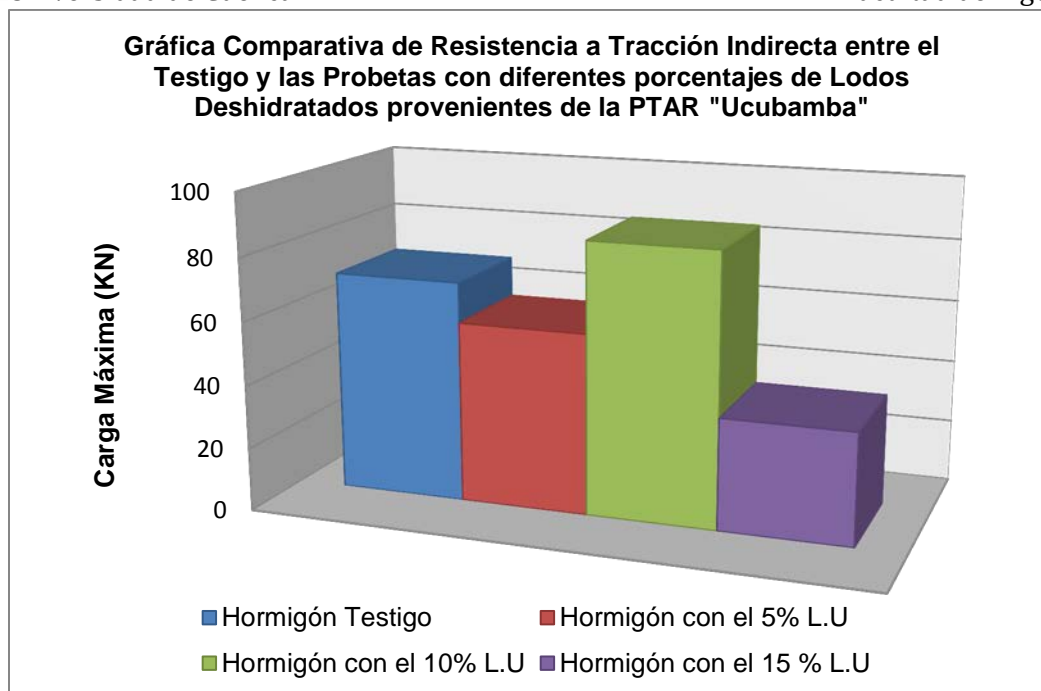


Ilustración 53 Gráfica Comparativa de Resistencia a Tracción Indirecta LDU

La Ilustración 53 visualiza el comportamiento de las probetas elaboradas con lodos de depuradoras en distintas proporciones y que al ser sometidas a cargas puntuales, presentan una mejor resistencia a tracción. Es notable observar que el hormigón con el 10% de LDU supera la resistencia del testigo en un 22%.

CARACTERÍSTICAS DE LAS CENIZAS OBTENIDAS EN LA CALCINACIÓN DE LODOS PROVENIENTES DE LA PTAR "UCUBAMBA" Y PTAP "SUSTAG"			
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".			
CENIZAS DE LDU		CENIZAS DE LDS	
pH	8.87	pH	7.05
Densidad (gr/cm ³)	0.93	Densidad (gr/cm ³)	0.86
Peso Específico	2.76	Peso Específico	2.55

Tabla 48 Análisis físico- químico de las "cenizas"

En la Tabla 48 se muestra ciertos parámetros físicos- químicos obtenido de las "cenizas" provenientes de la calcinación en la mufla a una temperatura de 800°C. Es importante señalar que en la presente investigación se la realizó con las cenizas anteriormente especificadas, siendo posible calcinarlas en hornos de mayor temperatura y de esta manera tener una caracterización más minuciosa de las mismas, mediante el método de absorción atómica (AA).

CONCENTRACIÓN DE GASES EMANADOS EN LA CALCINACIÓN DE LODOS PROVENIENTES DE LA PTAR "UCUBAMBA" Y PTAP "SUSTAG"			
PROYECTO: "Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción".			
Gases a medir	Límite Máximo Permisible en 1 hora	Concentración de Gases que emanan LDS	Concentración de Gases que emanan LDU
CO (µg/ m ³)	30000	67.36	93.38
NO ₂ (µg/ m ³)	200	13.2	62.36
SO ₂ (µg/ m ³)	500	15.3	86.77

Tabla 49 Análisis de Emisiones

La Tabla 49 muestra que los resultados de la medición de las emisiones durante el proceso de calcinación, las mismas que se encuentran muy por debajo de los límites máximos permisibles según la normativa vigente.



5.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD.

El módulo de elasticidad es o módulo de Young del hormigón es una propiedad que es usada comúnmente en el diseño y en las aplicaciones de ingeniería, debido a que representa esencialmente una medida de firmeza que influye en las deformaciones, derivas y en la rigidez de la estructura. Es además un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico según la dirección en que se aplique la fuerza, el módulo de elasticidad nos permite conocer el acortamiento por carga axial que sufre un elemento estructural.

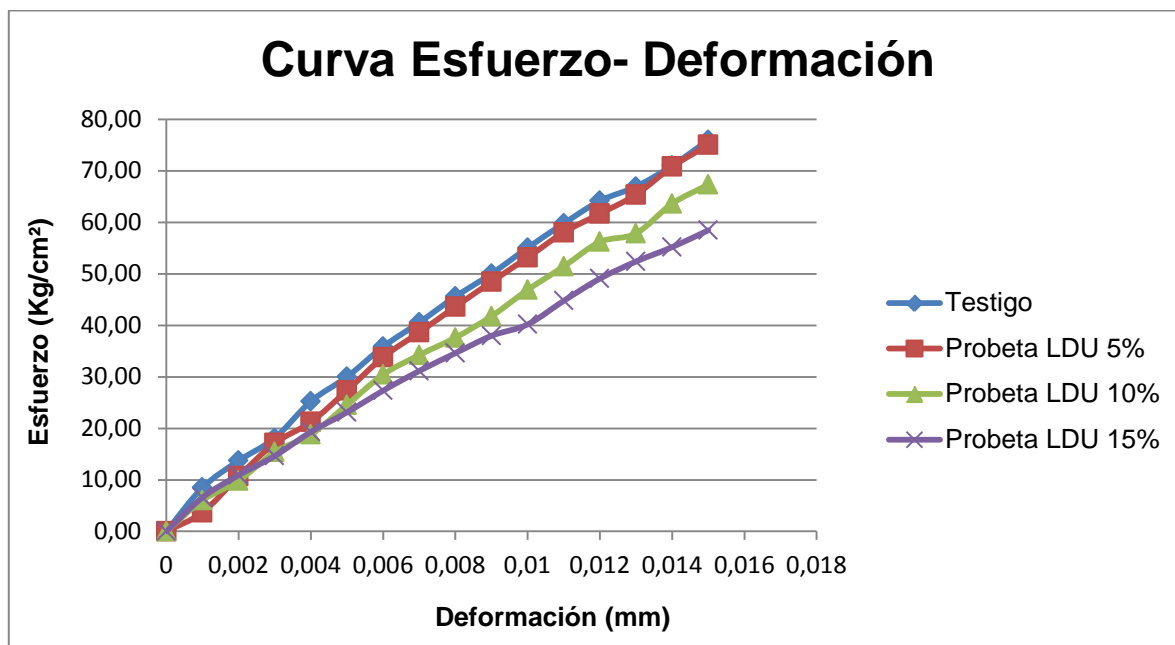


Ilustración 54. Curva Esfuerzo-Deformación de las probetas de Hormigón.

Como se puede ver en la Ilustración 54, la gráfica de la probeta que contiene el 5% de lodo desecado es la que alcanza un mayor esfuerzo antes de la rotura, no así en el caso de las probetas que contienen más porcentaje de lodo, las mismas que presentan esfuerzos menores en este ensayo.

Además se puede observar un comportamiento lineal en el primer tramo de las gráficas, lo que nos indica que la carga es directamente proporcional a la deformación y presentan un comportamiento similar a la gráfica de un hormigón tradicional de 210 kg/cm^2 .



5.6 ANÁLISIS DE COSTOS EN LA PRODUCCIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

A continuación se presenta un análisis de los costos en la producción de los materiales que incluyen la incorporación de lodos desecados como de cenizas, respectivamente. En el Anexo 6 se puede verificar así mismo un análisis de precios unitarios en los cuales se considera la elaboración de 1m^3 de hormigón y mortero puestos en obra, mediante el uso de un software de presupuestos (INTERPRO).

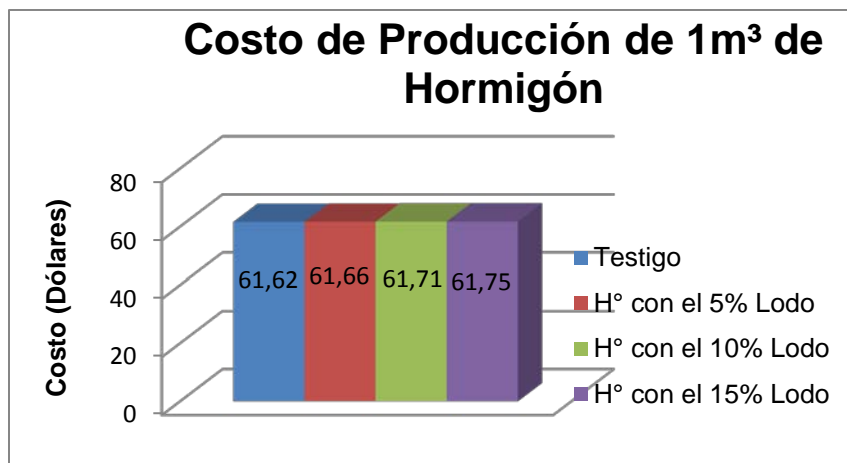


Ilustración 55. Costo de producción de Hormigones con Lodo proveniente de la PTAR Ucubamba.

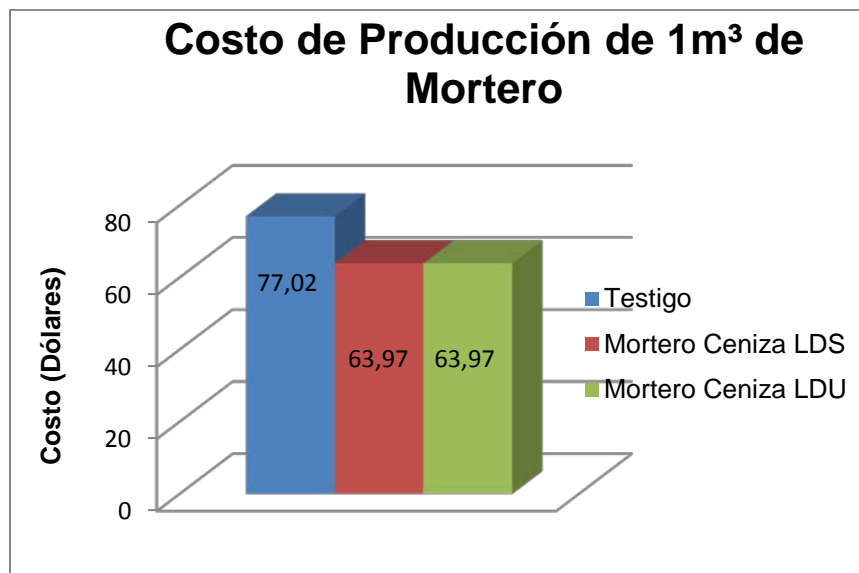


Ilustración 56. Costo de producción de morteros con cenizas provenientes de los lodos PTAR y PTAP.



6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Una vez concluidos todos los ensayos, y realizados los análisis comparativos respectivos, superando muchos contratiempos y desafíos durante la realización de este trabajo de investigación, se tiene la certeza de haber cumplido los objetivos formulados, los mismos que planteaban la utilización de los lodos de PTAP y PTAR como agregados para materiales de construcción, con sus respectivas pruebas físicas, químicas y mecánicas.
- Se puede afirmar que esta es una nueva forma de construcción ecológica, ya que al convertirse en un innovador mecanismo de gestión, manejo y disposición de residuos, se fortalece un desarrollo sostenible, con un importante aporte en la disminución de explotación y búsqueda de áridos en canteras. Esto permite una mejora en la huella medioambiental, a través del uso de materias primas alternativas que minimizan el impacto y la producción de los principales gases causantes del calentamiento global (CO , NO_2 , SO_2).
- Al reemplazar hasta el 15% del árido fino por el lodo desecado de PTAP y PTAR, se observó una disminución considerable en la resistencia a la compresión y tracción indirecta en las probetas que contenía lodo proveniente de la planta potabilizadora. No así en el caso de las probetas elaboradas con lodo desecado de la planta depuradora, las mismas que presentaron un mejor comportamiento y resistencias adecuadas para posibles usos estructurales; esto posiblemente debido al aporte de aluminio y hierro predominantes en la composición del lodo, que contribuyen a la formación de la matriz cementante.
- Una aproximación al porcentaje óptimo de sustitución de árido fino es del 10% con lodos provenientes de PTAR, en donde su resistencia a compresión a los 28 días de edad es de 198.61 kg/cm^2 y al someterla al ensayo de tracción indirecta soporta una carga máxima de 86.20 KN. En el primer caso cercano al valor de resistencia de diseño del hormigón y en el segundo siendo superior en un 22.7% al valor de la probeta usada como testigo.
- La corrosión en las probetas elaboradas con lodo desecado de la planta potabilizadora ocurre debido a que los iones de sulfato presentes en estos



lodos tienen mayor afinidad para reaccionar con la portlandita o alita hidratada (silicato tricálcico: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), que se encuentra en el cemento, lo que da como resultado que la resistencia en estas probetas sea muy baja.

- La mala granulometría de los lodos desecados tanto de la PTAP Y PTAR para la sustitución en diferentes porcentajes, modifica la granulometría del árido fino que es el responsables de llenar el espacio entre las partículas.
- En la fabricación de morteros testigos y morteros con sustitución de cenizas provenientes de lodos deshidratados de las plantas potabilizadoras y depuradoras, se pudo comprobar que la fluidez se encontró en el rango dado por la norma ASTM-C230 que es de $110 \pm 5\text{mm}$.
- Los resultados indican que el mortero elaborado con cemento, arena, ceniza de lodo PTAR y agua, presenta un comportamiento muy similar al del mortero elaborado con cemento, cal, arena y agua; pudiendo afirmarse que la ceniza obtenida en el proceso de incineración de los lodos deshidratados de PTAR, funciona adecuadamente como sustituyente de la cal. Dándoles un uso estructural en: muros pocos cargados, cimientos y revoques impermeables.
- Para la elaboración de los ladrillos, se descartó el lodo de potabilizadoras, continuándose los ensayos con el lodo deshidratado recién extraído de la planta de “Ucubamba”. Estos nuevos ladrillos presentan características visuales similares a un ladrillo de elaboración tradicional.
- En términos de resistencia los nuevos ladrillos que incorporan lodo presentan un incremento del 54% en relación al ladrillo convencional, considerando el 5% como porcentaje optimo de sustitución del peso del ladrillo.
- Frente a los controles ambientales para una actividad industrial y bajo la normativa vigente referente al Aire Ambiente, se llevó a cabo un estudio de emisiones producidas en la incineración de los lodos. Por lo que se hizo un control de los principales gases (CO , NO_2 , SO_2), pudiendo verificarse que las concentraciones emitidas están dentro de límite permisible, garantizando así un ambiente laboral adecuado.



Recomendaciones:

- Se recomienda implementar un plan integral de manejo y disposición final de lodos de PTAP y PTAR. Dentro del cual se contemplen todas las opciones de reutilización de lodos.
- Se recomienda un estudio más detallado de los lodos procedentes de las potabilizadoras; es posible una recuperación del coagulante (sulfato de aluminio), mediante la adición de ácido sulfúrico, contribuyendo notablemente en la minimización de los lodos a tratar, y a la cantidad de coagulante a utilizar.
- Se recomienda un análisis continuo de los lodos producidos en las lagunas de estabilización; su composición dependerá siempre de las características del agua residual cruda, por lo que la utilidad del lodo será variable y en función del tiempo de residencia en las lagunas.



7 BIBLIOGRAFÍA

1. **Durazno Orellana, Jorge Galo.** *Generación, acumulación y distribución de lodos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba.* Cuenca : ETAPA EP Cuenca, 2009.
2. **Organización Mundial de la Salud.** *Guías para la calidad del agua potable.* Ginebra : 1,195, 1995.
3. **Carrasco, Francisco y Ángel, Menéndez D.** *Nuevos materiales y tecnologías para el tratamiento del agua.* s.l. : Universidad internacional de Andalucía, 2010. ISBN 978-84-7993-202-2.
4. **Tejero M., Iñaki, y otros, y otros.** *Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental.* 2001. Vol. 1.
5. **INVARIG. INGENIERÍA, S.L.** *Calidad y Tratamiento del Agua.* España : McGraw- Hill , 2002.
6. **Mosquera Gutierrez, julio César.** *Gestión por procesos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable "sustag" de ETAPA (Tesis Pre- Grado).* Ecuador , 2012.
7. **Albuja, Daniela y Illescas, Marcela.** *Optimización de los Procesos de Potabilización de Agua en la Planta de Tratamiento de Sústag-ETAPA.* Ecuador , 2010.
8. **Pérez de la Cruz, Francisco Javier y Urrea Mallebrera, Mario.** Tema 9 Tratamiento de Fangos. [aut. libro] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. *ABASTECIMIENTO DE AGUAS.*
9. **Astudillo Córdova, Freddy y Luis, Bermeo Barros.** *Diseño de un sistema automatizado de secado, almacenamiento y despacho de lodos deshidratados de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Sustag y simulación mediante un software especializado.* Ecuador, Abril de 2011.
10. **Metcalf & Eddy, INC.** *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES. TRATAMIENT, VERTIDO Y REUTILIZACIÓN.* Tercera. s.l. : McGRAW-HILL, 1995.
11. **Valencia Montoya, Guillermo.** *Tratamientos Primarios.* Mérida : CEPIS, CIDIAT, 1980.
12. **PROCESOS BIOLÓGICOS APLICADOS AL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL. Nodal Becerra, Elida.** 4, 2001, INGENIERIA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL, Vol. 23, págs. 52-56.
13. **Tejero Monzón, Iñaki, y otros, y otros.** *INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL.* Primera. La Coruña : s.n., 2001.
14. **Martínez, Javier M. Sc. Ing. Qco.** *Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos.* Montevideo : Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 2005.
15. **Gallo Ramírez, Julián Alberto y Uribe Hurtado, Juan Carlos.** *Reutilización de Lodos de Planta de Potabilización en el Tratamiento de Aguas Residuales.* Manizales : Universidad Nacional de Colombia, 2003.



16. *Nuevas aplicaciones de lodos residuales*. **Colín Cruz, Arturo, y otros, y otros**. 2001, Universidad Autónoma de México.
17. **Yagüe, A, y otros, y otros**. *Utilización de lodo seco de depuradora de aguas residuales como adición en adoquines de hormigón prefabricado*. Catalunya : s.n., 2002.
18. , *Aprovechamiento de Lodos aluminosos generados en sistemas de potabilización, mediante su incorporación como agregado en materiales de construcción*. **Hernández, David, y otros, y otros**. 8, 2006, Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Vol. 5, págs. 119-132.
19. *USO POTENCIAL DE CENIZA DE LODO DE DEPURADORA COMO SUSTITUCIÓN DE ÁRIDO FINO EN BLOQUES DE HORMIGÓN PREFABRICADOS*. **Pérez Carrión, María Teresa, y otros, y otros**. 179, 2013, Dyna, Vol. 80, págs. 142-150.
20. *Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua*. **Torres, Patricia, Hernández, Darwin y Paredes, Diego**. 3, 2012, Revista de Ingeniería de Construcción, Vol. 27, págs. 145-154.
21. *LA "TRASMUTACIÓN" SOSTENIBLE DE LOS RESIDUOS PARA NUEVAS MATERIAS PRIMA EN EL ÁMBITO DEL CONCRETO*. **Payá, Jordi**. 175, 2012, Dyna, Vol. 79, págs. 38-47.
22. *Incorporation of sludges from a Water Treatment Plant in Cement Mortars*. **Goncalves, A, Esteves, A y Carvalho, M**. 2004, The Conference Use of Recycled Materials in Building and Structures.
23. **Cerón, Oswaldo, y otros, y otros**. *APLICACIÓN DE LODOS DE PLANTAS POTABILIZADORAS PARA ELABORAR MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*. Coyoacán : Insituto de Ingeniería, UNAM, 2002.
24. **Escalante García, J I**. *Materiales alternativos al cemento Portland*. s.l. : Avance y Perspectiva, 2002.
25. **Rollim, Sergio**. *Sistemas de Lagunas de Estabilización*. Bogotá : McGraw- Hill, 2000.
26. **Marino., Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y**. *Plan Nacional Integrado de Residuos para el periodo 2008-2015*. España : s.n., 2006.
27. *Novel Methods for the treatment and disposal of waterworks sludge: Final Report*. **Dillon, G.R, y otros, y otros**. 1084, 1996.
28. *Los Ecomateriales: Una alternativa económica para la construcción*. **Salazar, A**. 2003, Agencia Universitario de Periodismo Científico y Cultural.
29. **Henry, J. Glynn y Heinke, Gary W**. *INGENIERÍA AMBIENTAL*. Segunda. Naucalpan de Juárez : PRENTICE HALL, 1999.
30. **NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE. PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR**. s.l. : Registro Oficial Suplemento # 2, 2003.



31. **Vivienda, Ministerio de Desarrollo Urbano y.** Capítulo 1: Cargas y Materiales. *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-11.* 2011.
32. **Laura Huaca, Samuel.** Diseño de Mezclas de Concreto. [aut. libro] Universidad Nacional del Altiplano. Puno : s.n., 2006.
33. **American Concrete Institute.** *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08) y Comentario.* s.l. : American Concrete Institute, 2008.
34. **INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.** Norma Técnica Ecuatoriana. *Morteros para Unidades de Mampostería. Requisitos.* Quito : s.n., 2010.
35. **Alvarez Guerrero, Sara Fanny.** *Optimización del proceso de mezcla de arcilla para la producción de ladrillos, en el sector artesanal.* Cuenca : s.n., 2014.
36. *LA “TRANSMUTACIÓN” SOSTENIBLE DE LOS RESIDUOS PARA.* **Payá, Jordi.** 175, 2012, Dyna, Vol. 79, págs. 38-47.
37. *Incorporation of sludges from a water treatment plant in cement mortars.* **Goncalves, Arlindo, Esteves, Ana M y Carvalho, Marta.** 2002.
38. **Durazno Orellana, Jorge Galo.** *Generación, acumulación, distribución y características de lodos de Lagunas de Estabilización.* Cuenca : s.n., 2010.



ANEXO 1

CARACTERIZACIÓN LODOS PROVENIENTES DE LA PTAP SÚSTAG

Caracterización de los Lodos provenientes de la PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "SUSTAG"		
Parámetro	Método	Lodo Sústag
Fósforo Total	% peso seco	0.066
Nitrógeno Amoniacal	% peso seco	0.06
Nitrógeno Orgánico	% peso seco	1.43
Ph		6.12
Densidad	gr/cm ³	0.84
Húmeda	%	88.62
Sólidos Totales	%	11.38
S. Totales Volátiles	%	5.27
Coliformes Totales	NMP/g	2.50E+02
Coliformes Termotolerantes	NMP/g	1.90E+02
Aluminio	% peso seco	10.85
Arsénico	% peso seco	0.008
Cadmio	% peso seco	0.0005
Cobre	% peso seco	0.01
Cromo	% peso seco	0.0088
Hierro	% peso seco	2.2
Manganeso	% peso seco	0.043
Mercurio	% peso seco	0.001
Níquel	% peso seco	0.029
Plomo	% peso seco	0.004
Potasio	% peso seco	0.078
Sodio	% peso seco	0.046
Zinc	% peso seco	0.0264



ANEXO 2

CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS PROVENIENTES DE LA PTAR UCUBAMBA

Parámetro	Unidad	Muestra	Máximo	Promedio	Mediana	Mínimo
Características físicas						
Sólidos Totales	%	LC	12	9,1	8,8	7,4
	%	LD	33	30	31	26
Sólidos Totales Volátiles	%ST	LC	34	29	28	26
	%ST	LD	29	28	28	26
Características químicas inorgánicas						
Fósforo	g/kg	LC	5,2	3,4	3,3	2,2
	g/kg	LD	2,4	1,3	1,2	0,29
Nitrógeno Amoniacal	g/kg	LC	4,1	3,1	3,2	2,3
	g/kg	LD	2,3	1,9	1,9	1,4
Nitrógeno Orgánico	g/kg	LC	24	14	13	11
	g/kg	LD	16	14	14	13
Potasio	mg/kg	LC	2160	1761	1723	1420
	mg/kg	LD	1210	1127	1130	1010
Sodio	mg/kg	LC	1600	1285	1140	1080
	mg/kg	LD	810	599	526	500
pH	-	LC	7,19	6,70	-	6,39
	-	LD	8,21	7,46	-	7,02
Aluminio	g/kg	LC	21	15	16	5,8
	g/kg	LD	20	14	15	7,0
Cadmio	mg/kg	LC	7,0	4,2	4,6	2,1
	mg/kg	LD	2,8	2,7	2,6	2,5
Cobre	mg/kg	LC	340	238	220	183
	mg/kg	LD	270	234	227	220
Cromo	mg/kg	LC	550	364	344	280
	mg/kg	LD	390	305	300	230
Hierro	mg/kg	LC	19600	16843	15415	14900
	mg/kg	LD	19600	16384	17200	11400
Manganeso	mg/kg	LC	530	329	300	243
	mg/kg	LD	330	274	270	220
Niquel	mg/kg	LC	72	45	47	24
	mg/kg	LD	35	27	25	23
Plomo	mg/kg	LC	180	129	121	87
	mg/kg	LD	290	155	140	73
Zinc	mg/kg	LC	1490	969	930	580
	mg/kg	LD	1250	1008	990	810
Características biológicas						
C. Totales	NMP/g	LC	7.69E+05	3.04E+04	-	6.70E+03
	NMP/g	LD	2.44E+06	2.17E+05	-	4.50E+04
C. Termotolerantes	NMP/g	LC	9.06E+03	1.13E+03	-	3.00E+02
	NMP/g	LD	4.99E+04	6.50E+03	-	1.10E+03
Helmintos	Nº/g	LC	54,22	31,12	28,04	14,16
	Nº/g	LD	16,74	13,78	13,78	10,81

LC: Lodo crudo

LD: Lodo deshidratado



ANEXO 3

RESULTADOS DE LOS DIFERENTES ENSAYOS EN LAS PROBETAS DE HORMIGÓN

ROTURA DE PROBETAS DE HORMIGÓN									
PROYECTO : Trabajo de Investigación académico									
PROCEDENCIA : Universidad Estatal De Cuenca									
Resistencia Kg/cm ² f _c									
N°	Diámetro cm	Área cm ²	Edad Días	Fecha Muestra	FECHA Ensayo	CARGA TN	CARGA Kg.	RESISTENCIA Kg/cm ²	Promedio % de f _c
S5.2	10	78,54	14	05/08/2014	19/08/2014	8	8000	101,859	42,44
S10.2	10	78,54	14	05/08/2014	19/08/2014	4,5	4500	57,30	23,87
S15.2	10	78,54	14	05/08/2014	19/08/2014	2	2000	25,46	10,61
T2	10	78,54	14	05/08/2014	19/08/2014	15,5	15500	197,35	82,23
US.1	10	78,54	14	05/08/2014	19/08/2014	6	6000	76,39	31,83
S1	CUBO l=5,00	25,50	14	05/08/2014	19/08/2014		133	5,22	2,17
C2	CUBO l=5,05	25,50	14	05/08/2014	19/08/2014		733	28,75	11,98
U2	CUBO l=5,01	25,50	14	05/08/2014	19/08/2014		687	26,94	11,23

ELABORADO POR: PEDRO ARCE
LABORATORISTA


ING. FRANCISCO CAMPOS.
CONTROL DE CALIDAD



Ilustración 57. Resultados Ensayo Probetas Hormigón




ROTURA DE PROBETAS DE HORMIGON											
PROYECTO		: Trabajo de investigación academico									
PROCEDENCIA		: Universidad Estatal De Cuenca									
Resistencia Kg/cm2 f'c 240											
N°	Diametro cm	Area cm2	Edad Dias	Fecha Muestra	FECHA Ensayo	CARGA TN	CARGA		RESISTENCIA Kg/cm2	% de f'c	Promedio % de f'c
							Kg.				
T3	10	78,54	7	06/08/2014	13/08/2014	13	13000		165,521	165,52	68,97
S10.1	10	78,54	7	06/08/2014	13/08/2014	4	4000		50,93	50,93	21,22
S15.1	10	78,54	7	06/08/2014	13/08/2014	2	2000		25,46	25,46	10,61
S5.1	10	78,54	7	06/08/2014	13/08/2014	6	6000		76,39	76,39	31,83





Nota: si el hormigón es de f'c= 240 kg/cm², la resistencia mínima a los 7 días debería ser el 60% de f'c lo cual no esta cumpliendo de acuerdo a los resultados obtenidos, por lo tanto la mezcla de hormigón no cumple con la resistencia proyectada.


ELABORADO POR : PEDRO ARCE
LABORATORISTA


ING. FRANCISCO CAMPOS.
CONTROL DE CALIDAD

Ilustración 58. Resultados Ensayos Probetas de Hormigón y Morteros.



ANEXO 4

RESULTADOS DE LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE EMISIONES



Centro de Estudios Ambientales Pág. 3/4

Tabla 1. Concentración de Gases en Aire Ambiente en el punto monitoreado del Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca
24/06/2014

No.	Ubicación	Hora (hh:mm)	Concentración de Gases	CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite Máximo Permisible CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1 hora	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite Máximo Permisible NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1 hora	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite Máximo Permisible SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 10 minutos
1	Interior del laboratorio de Sanitaria (durante el proceso de quema de lodos deshidratados de Ucubamba)	09:00 – 10:20	Promedio	93,38	30000	62,36	200	86,77	500

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor. Las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidas o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

[Firma]



Tabla 1. Concentración de Gases en Aire Ambiente en el punto monitoreado del Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca
09/07/2014

No.	Ubicación	Hora (hh:mm)	Concentración de Gases	CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite Máximo Permisible CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1 hora	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite Máximo Permisible NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1 hora	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite Máximo Permisible SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 10 minutos
1	Interior del laboratorio de Sanitaria (durante el proceso de quema de lodos deshidratados de Sústag)	09:15 – 10:35	Promedio	67.36	30000	13.20	200	15.30	500

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones dadas, están únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser
reproducidas o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

[Handwritten signature]

Ilustración 60. Control de Emisiones Lodo procedente de Sústag.

ANEXO 5

MATRIZ DE ENCAPSULAMIENTO DEL LODO EN HORMIGONES



Ilustración 61 Probetas Lodo desecado Ucubamba y Sústag



Ilustración 62. Corrosión por Sulfatos, comparación de probetas Sústag y Ucubamba.



Ilustración 63. Ensayo de Tracción Indirecta.



Ilustración 64. Matriz Cementante de Encapsulamiento del Lodo (Ucubamba izquierda, Sústag derecha).



Ilustración 65. Ensayo de Tensión-Deformación.

**ANEXO 6****ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS, MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE (INTERPRO).****ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

Hoja 1 de 1

RUBRO: Hormigón Simple $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (testigo)**UNIDAD:** m³**DETALLE:**

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramientas varias	5	0.7	3.5	0.76	2.66
Concretera un saco	1	3.15	3.15	0.76	2.39
Vibrador	1	3.5	3.5	0.76	2.66
SUBTOTAL M					7.71
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Albañil	1	3.05	3.05	0.76	2.32
Técnico obras civiles	1	3.21	3.21	0.38	1.22
Peón	4	3.01	12.04	0.76	9.15
SUBTOTAL N					12.69
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Agua	lt	216	0.01	2.16	
Arena puesta en obra	m ³	0.36	18	6.48	
Grava puesta en obra	m ³	0.3	18	5.4	
Cemento Portland Tipo I puesto en obra	saco	7.7	7	53.9	
SUBTOTAL O					67.94
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					88.34
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.00 %					17.67
OTROS INDIRECTOS: 0.00 %					0
COSTO TOTAL DEL RUBRO					106.01
VALOR OFERTADO					106.01

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Hoja 1 de 1

RUBRO: Hormigón Simple $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (lodo Ucubamba 10%)

UNIDAD: m^3

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramientas varias	5	0.7	3.5	0.76	2.66
Concretera un saco	1	3.15	3.15	0.76	2.39
Vibrador	1	3.5	3.5	0.76	2.66
SUBTOTAL M					7.71
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Albañil	1	3.05	3.05	0.76	2.32
Técnico obras civiles	1	3.21	3.21	0.38	1.22
Peón	4	3.01	12.04	0.76	9.15
SUBTOTAL N					12.69
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Lodo Desecado	kg	85	0.01	0.85	
Agua	lt	216	0.01	2.16	
Arena puesta en obra	m^3	0.33	18	5.94	
Grava puesta en obra	m^3	0.29	18	5.22	
Cemento Portland Tipo I puesto en obra	saco	7.7	7	53.9	
SUBTOTAL O					68.07
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					88.47
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.00 %					17.69
OTROS INDIRECTOS: 0.00 %					0
COSTO TOTAL DEL RUBRO					106.16
VALOR OFERTADO					106.16

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.



ANEXO 7

RECONOCIMIENTO A LA INVESTIGACIÓN UNIVERSITARIA: GALARDONES 2014 SENESCYT.



